

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 004.422.81

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ Г.Г.Власюк
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 9 ” грудня _____ 2019 р.

Магістерська робота

спеціальність _____ 171 Електроніка
(код і назва спеціальності)

на тему: «Удосконалення процесу створення аудіокомпозицій із застосуванням сучасних технологій»

Виконав: студент II курсу, групи _____ ДВ-81мп
(шифр групи)

_____ Трапезніков Єгор Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н., Філіпова Н. Ю.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (освітня програма) 171 Електроніка

(Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей)
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Г.Г.Власюк
(підпис) (ініціали, прізвище)

« » грудня 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську роботу студенту

Трапезнікову Єгору Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Удосконалення процесу створення аудіокомпозицій із застосуванням сучасних технологій»

науковий керівник дисертації Філіпова Наталія Юріївна, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 07 » листопада 2019 р. № 3859-с

2. Строк подання студентом дисертації 09.12.2019 р.

Об'єкт дослідження: процес створення аудіокомпозицій із застосуванням сучасних технологій.

3. Предмет дослідження (Початкові дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): методи та технології створення аудіокомпозицій, середовище розробки аудіоінструментів та плагінів Max for Live, Цифрова робоча аудіостанція Ableton Live, бібліотека плагінів Waves, бібліотека плагінів Izotope, бібліотека плагінів Fabfilter, комп'ютер на базі macOS.

4. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Розглянути основні принципи цифрової обробки звукових сигналів; 2) Проаналізувати алгоритми та пристрої частотної обробки сигналів; 3) Дослідити методи динамічної обробки звукових сигналів; 4) Розглянути апаратні та цифрові принципи побудови реверберації; 5) Виконати мастерінг музичної композиції використовуючи сучасні технології; 6) Створити плагін в середовищі Max for Live з ефектом «Затримка Хааса»; 7) Порівняти результати мастерінгу створеного в програмному забезпеченні Izotope Ozone 8 та за допомогою плагіну; 8) Дослідити спектрограми вокальних доріжок до та після оброблення сигналів.
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1) 87 рис, 20 табл., 1 презентація, 19 слайдів.
6. Орієнтовний перелік публікацій:
7. Дата видачі завдання 10. 09. 2018 р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Строк виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|--|---|----------|
| 1 | Написання першого розділу: Основні принципи цифрової роботи аудіосигналів | 15.03.2019 | |
| 2 | Написання другого розділу: Обробка та мастерінг музичної композиції | 30.05.2019 | |
| 3 | Написання третього розділу: Застосування сучасних технологій до міксування аудіокомпозицій | 10.10.2019 | |
| 4 | Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки | 30.11.2019 | |
| 5 | Підготовка та оформлення презентації для доповіді | 03.12.2019 | |

Студент
(підпис)

Є. Ю. Трапезніков
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник

Н. Ю. Філіпова
(ініціали, прізвище)

УДК 004.422.81

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 120 с., 87 рис., 20 табл., 1 дод., 14 джерел,
МІКСИНГ, МАСТЕРИНГ, ПЛАГІНИ, ABLETON LIVE, MAX FOR LIVE

Актуальність дослідження. З розвитком цифрових технологій кількість звукозаписуючих студій та попит в отриманні послуг, пов'язаних із записом, обробкою та мастерингом аудіокомпозицій росте. Про актуальність обраної теми свідчать переваги, які надає використання сучасних технологій при роботі з аудіосигналом, а саме:

- підвищення ступеня зацікавленості до створення власних музичних проєктів;

- підвищення якості обробки та мастерингу аудіосигналу сучасними цифровими засобами, у тому числі з використанням штучного інтелекту та власно створених плагінів.

Метою дослідження є створення послідовного алгоритму обробки та мастерингу аудіосигналу в цифровій робочій станції Ableton Live та створення власного плагіна ефекту в середовищі Max for Live.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Розглянути основні принципи цифрової обробки звукових сигналів;
2. Проаналізувати алгоритми та пристрої частотної обробки сигналів;
3. Дослідити методи динамічної обробки звукових сигналів;
4. Розглянути апаратні та цифрові принципи побудови реверберації;
5. Виконати мастерінг музичної композиції використовуючи сучасні технології;
6. Створити плагін в середовищі Max for Live з ефектом «Затримка Хааса»;
7. Порівняти результати мастерингу створеного в програмному забезпеченні Izotope Ozone 8 та за допомогою плагіну;

8. Дослідити спектрограми вокальних доріжок до та після оброблення сигналів.

Об'єкт дослідження – процес створення аудіокомпозицій із застосуванням сучасних технологій.

Предмет дослідження – вдосконалення методів та процесів створення аудіокомпозицій із застосуванням сучасних технологій.

Методи дослідження – розроблення нових алгоритмів та послідовностей дій, розробка власного плагіну в середовищі Max for Live.

Наукова новизна отриманих результатів: Розроблено та створено власний плагін затримки Хааса (Haas Delay) в середовищі Max for Live.

Практичне значення одержаних результатів: запропоновано та створено алгоритм, що надає можливість швидко та професійно створити аудіокомпозицію з подальшою можливістю її публікації на CD-дисках або на стрімінгових сервісах.

Апробація результатів дисертації: Наукова і практична частина дисертаційної роботи оприлюднена та обговорена у вигляді статті «Основи розміщення мікрофона для запису різних сигналів в студії звукозапису», на кафедральній конференції «Сучасні технології кіно та аудіовізуальних систем", (м. Київ, 2019р.)

SUMMARY

Master's dissertation: 120 p., 87 fig., 20 tabl., 14 sources, 1 supplement.

MIXING, MASTERING, PLUGINS, ABLETON LIVE, MAX FOR LIVE

The relevance of the topic of the work is that With the development of digital technology, the number of recording studios and the demand for services related to recording, processing and mastering of audio compositions is growing. The relevance of the chosen topic is evidenced by the advantages of using modern technologies when working with the audio signal.

The subject of the study is the technology of creating audio compositions using modern technologies.

The purpose of the study is to improve the methods and technologies of creating audio compositions using modern technologies.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

1. Choose the basic principle of digital processing of audio signals;
2. Analyze the algorithms of the attachment frequency signal processing;
3. Subsequent methods of dynamic processing of sound signals;
4. Choose a digital and digital principle, encourage reverberation;
5. Do the mastering of musical composition of victorious modern technology;
6. Create a plug-in in the middle of Max for Live with the effect of "Haas Delay";
7. Learn more about the mastering of Izotope Ozone 8, which was built into the software security for that plug-in;
8. Get the spectrograms of the vocal tracks to that signal signal.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ | 9 |
| ВСТУП | 10 |
| 1. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ АУДІОСИГНАЛІВ..... | 11 |
| 1.1. Класифікація фільтрів..... | 11 |
| 1.1.1 Призначення і класифікація фільтрів | 11 |
| 1.1.2 Базові цифрові фільтри..... | 14 |
| 1.1.3 Фільтри низьких і високих частот 1 порядку..... | 16 |
| 1.1.4 Цифрові фільтри частотної корекції типу Low-Cut і High-Cut | 19 |
| 1.2 Динамічна обробка звукових сигналів..... | 22 |
| 1.2.1 Принцип динамічної обробки | 23 |
| 1.2.2 Алгоритми роботи динамічного процесора | 26 |
| 1.3 Звукові ефекти..... | 30 |
| 1.3.1 Цифрові ефекти затримки..... | 30 |
| 1.3.2 Гребінчастий фільтр..... | 33 |
| 1.3.3 Цифрова реверберація..... | 37 |
| 2. ОБРОБКА ТА МАСТЕРИНГ МУЗИЧНОЇ КОМПОЗИЦІЇ | 41 |
| 2.1. Організація аудіодоріжок | 41 |
| 2.1.1 Pitch Shifter (пітч-шифтер)..... | 42 |
| 2.1.2 Конфліктуючі тембри..... | 45 |
| 2.1.3 Баланс інструментів в міксі..... | 46 |
| 2.1.4 Фільтрація низьких частот..... | 46 |
| 2.1.5 Профілактичні заходи для низькочастотної області..... | 47 |
| 2.1.6 Стереодоріжки і моносумісність..... | 48 |
| 2.2. Компресія звуку..... | 50 |
| 2.2.1 Найпоширеніші регулятори компресора..... | 51 |
| 2.2.2 Основи компресії звуку..... | 52 |
| 2.2.3 Алгоритм роботи з компресором..... | 53 |
| 2.3 Використання лімітера..... | 54 |
| 2.4 Метод послідовної компресії..... | 55 |
| 2.4.1 Паралельна компресія..... | 56 |
| 3. ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДО МІКСУВАННЯ АУДІОКОМПОЗИЦІЙ..... | 58 |
| 3.1. Базова корекція доріжок..... | 58 |

| | |
|---|-----|
| 3.2. Обробка доріжки вокалу..... | 61 |
| 3.2.1 Обробка за допомогою інструменту Pitch Shifter..... | 61 |
| 3.2.2 Компресія вокалу..... | 63 |
| 3.2.3 Динамічна обробка та ефекти вокальних доріжок..... | 66 |
| 3.3. Обробка басу та бас-бочки..... | 68 |
| 3.4. Створення власного аудіоплагіна в середовищі Max for Live..... | 73 |
| 3.5. Мастеринг композиції..... | 84 |
| 3.5.1 Експорт готової композиції..... | 86 |
| 3.6. Аналіз спектру до та після обробки сигналів..... | 89 |
| 3.6.1 Спектральний аналіз вокальної доріжки..... | 89 |
| 3.6.2 Спектральний аналіз доріжок низькочастотних інструментів..... | 90 |
| 3.6.3 Міксинг та мастеринг всієї композиції..... | 92 |
| 4. СТАРТАП ПРОЕКТ..... | 96 |
| 4.1. Опис ідеї проекту..... | 96 |
| 4.2. Технологічний аудит ідеї проекту | 96 |
| 4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту..... | 98 |
| 4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту | 101 |
| 4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту..... | 103 |
| ВИСНОВКИ | 106 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... | 108 |
| ДОДАТОК А. ABSTRACT..... | 110 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

| | |
|----------|---|
| АЦП(ADC) | – Аналогово-цифровий перетворювач (Analog to Digital converter); |
| DAW | – Digital Audio Workspace (Цифрова робоча аудіостанція); |
| DSP | – Digital Signal Processor (Цифровий сигнальний процесор); |
| CD | – Compact Disc (Компакт-диск) |
| АЧХ | – Амплітудно-частотна характеристика |
| LUFS | – Loudness Unit Full Scale (Одиниця гучності по відношенню до повної шкали) |
| ПЗ | – Програмне забезпечення |
| LFP(ФНЧ) | – Universal Windows Platform (Універсальна платформа Windows) |
| ЦАП(DAC) | – Цифро-аналоговий перетворювач (Digital to Analog converter) |
| НІХ | – Нескінченна імпульсна характеристика |
| СІХ | – Скінченна імпульсна характеристика |

Вступ

На сьогоднішній день звукоінженерія в студійних комплексах є перспективною та прибутковою професією, та дає можливість працювати в будь-якій країні світу. З розвитком цифрових технологій музична індустрія вийшла на принципово новий рівень, тому багато досвідчених інженерів та музичних продюсерів продовжують вивчати та покращувати цю технологію, що стрімко розвиваються.

Протягом останніх десятиліть в сфері аудіоінженерії звукозапису відбулось багато змін, які стрімко продовжують набувати більш якісних та складних форм, але разом з цим полегшилась технологія обробки та мастерингу аудіокомпозицій. Зараз вже немає обов'язкової потреби в великих професійних студіях, адже маючи потужний комп'ютер та мінімальний комплект обладнання можна почати поглиблюватись в технології обробки звуку та звуковідтворення. Саме тому є доцільним мати структурований та сучасний алгоритм обробки аудіосигналів для можливої подальшої публікації готової композиції, на що і направлена ця робота.

Професійна та якісна обробка музичних інструментів в музичній студії є одним з найголовніших умінь досвідченого звукорежисера-професіонала та основною причиною високої якості композиції. Протягом останніх років з розвитком цифрових технологій технології обробки звуку трансформувались та покращувались, не дивлячись на те, що в основі лежать все ті ж старі принципи. Тому важливо мати актуальну та свіжу інформацію щодо роботи з сучасними алгоритмами.

1. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ АУДІОСИГНАЛІВ

1.1 Класифікація фільтрів

1.1.1 Призначення і класифікація фільтрів

Під частотною корекцією розуміється підвищення або зниження рівня спектральних складових звукових сигналів в обраних смугах за допомогою фільтрів без внесення нових складових спектра. Необхідність серйозної частотної корекції звуковідтворювальної апаратури найбільш часто обумовлена поганими акустичними характеристиками приміщень, де проводиться концерт або прослуховується звукозапис. Апаратура частотної корекції звукових сигналів є сполучною ланкою між звучанням звуковідтворювальної системи і відгуком приміщення, і вона значною мірою може вирішити такі проблеми.

Частотні коректори використовуються у всіх студіях звукозапису і звукового мовлення. З їх допомогою зазвичай вирішуються технічні питання, такі, як обмеження смуги звукового тракту, придушення низькочастотних шумів і мережевих наведень, корекція амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) мікрофонів, гучномовців і приміщень. Останнім часом при зведенні та мастерингу все більш широко частотна корекція застосовується для вирішення творчих завдань звукорежисерів зі створення художніх звукових ефектів і доданню звучанню нового забарвлення. Це стало можливо завдяки індивідуальній частотній обробці майже кожного музичного інструменту і вокалу.

У аудіотехніці частотна корекція звукових сигналів здійснюється за допомогою таких пристроїв і фільтрів, які можуть бути у вигляді окремої апаратури або програмного продукту:

- фільтри обмеження смуги частот,
- фільтри плавного підйому і спаду АЧХ,

- смугові фільтри,
- фільтри «присутності»
- графічні еквайзери,
- параметричні еквайзери,
- параграфічені еквайзери,
- кросовери.

Фільтри, що використовуються під час частотної корекції, за принципом реалізації, перш за все, поділяються на аналогові і цифрові. У свою чергу аналогові фільтри можуть бути виконані як на пасивних, так і на активних елементах. За принципом роботи всі фільтри поділяються на лінійні і нелінійні. Залежно від виду імпульсної передавальної функції фільтри поділяються на рекурсивні (НІХ фільтри, з нескінченною імпульсною характеристикою) та нерекурсивні (СІХ фільтри, з обмеженою імпульсною характеристикою). Всі аналогові фільтри є рекурсивними, цифрові фільтри можуть бути як рекурсивними, так і нерекурсивними.[2]

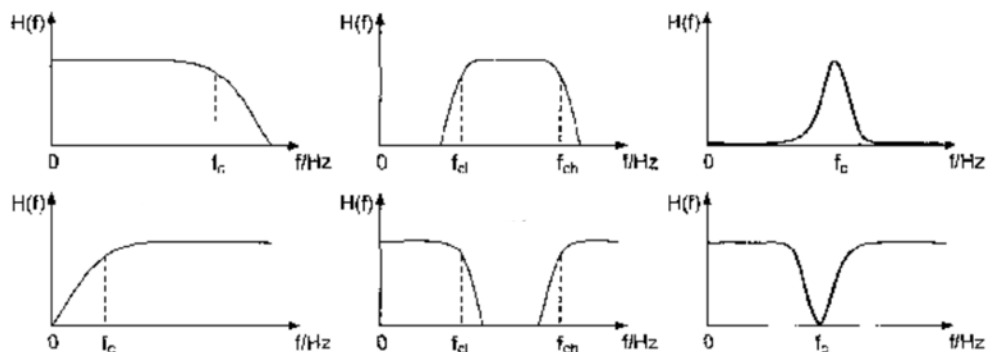


Рисунок 1.1 - Частотні характеристики фільтрів

Частотна обробка сигналу за допомогою фільтрів - це складна, дорога і, головне, ресурсномістка процедура. Вона порівняно недавно стала проводитися в цифрових пристроях - раніше різні ефекти звучання досягалися шляхом обробки звуку аналоговою апаратурою. У такій апаратурі для реалізації фільтрів потрібна велика кількість пасивних і

активних елементів з дуже високими вимогами до точності їх виготовлення і, головне, до збереження параметрів в процесі тривалої експлуатації при зміні температури і вологості. Більшість аналогових фільтрів вносять в сигнали частотно-залежне зрушення за часом. Це означає, що різні частотні компоненти сигналу затримуються фільтром на різний час. Як правило, це небажаний ефект.

Можливість же використання цифрових пристроїв має незаперечні переваги, так як якість обробки сигналів в них набагато менше залежить від елементної бази апаратури. Головне в цьому випадку - це точно оцифрувати звук і мати можливість відтворювати його без істотних спотворень, тоді якість частотної обробки лягає вже тільки на програмний продукт. Важливо, що при цьому для різних маніпуляцій зі звуком не потрібна постійна зміна обладнання. Для цифрової обробки звукових сигналів потрібно досить багато часу, тому багато операцій поки виконуються в пост-режимі.

На жаль, цифрові пристрої завжди вносять в звук щось власне, роблять його схожим на комп'ютерне мультимедійне аудіо. Ця проблема поступово зникає, так як в сучасних еквалайзерах вже використовується 24-розрядне квантування і частота дискретизації досягає 96 і 192 кГц. При цьому швидко падає вартість таких перетворювачів.

При цифровій фільтрації найбільш широко використовуються рекурсивні фільтри, робота яких заснована на використанні частотно-залежного негативного зворотного зв'язку. Вони дуже швидкі і в основному використовуються в програмних продуктах, призначених для роботи в реальному часі.

Робота нерекурсивних СІХ-фільтрів заснована на використанні математичної операції згортки. Вони забезпечують дуже хорошу фільтрацію при відсутності фазових спотворень, але мають низьку

швидкодію. Застосовуються в еквайзерах, коли не потрібна велика точність фільтрації.

1.1.2 Базові цифрові фільтри

Для частотної корекції найбільш часто використовуються 4 види цифрових фільтрів: фільтри плавного підйому/спаду АЧХ на краях звукового діапазону (шельфові фільтри НЧ і ВЧ), смугові пропускаючі/затримуючі пікові фільтри і вузькосмугові пропускаючі/затримуючі пікові фільтри середніх частот (ФСЧ).

Коефіцієнт передачі цих фільтрів визначається логарифмічною шкалою і може бути вище і нижче 0 дБ. Типові частотні характеристики цих фільтрів наведені на рис.1.2. Досить часто використовуються і обрізні фільтри НЧ і ВЧ, що обмежують частотний діапазон. Більшість цих фільтрів є рекурсивними, проектується вони на основі базових фільтрів - ФНЧ, ФВЧ і всепропускаючих фільтрів (ФВП).

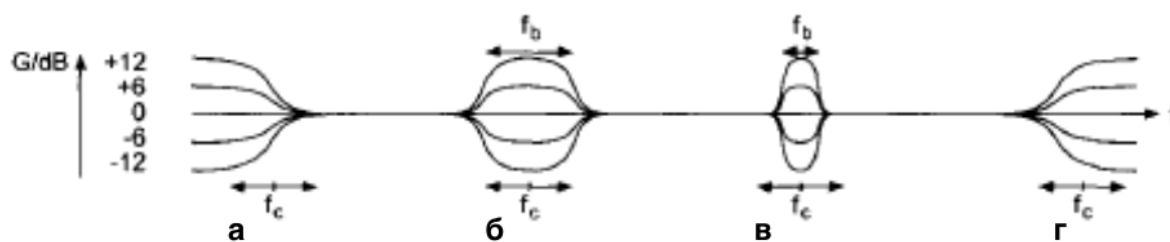


Рисунок 1.2 - Частотні характеристики фільтрів, що застосовуються в аудіотехніці: а – Шельфовий ФНЧ, б – Широкопasmовий пропускаючий/затримуючий фільтр, в – Вузькосмуговий пропускаючий/затримуючий фільтр, г - Шельфовий ФВЧ

Якщо проектування аналогових фільтрів здійснюється на основі використання перетворень Лапласа, то розрахунок цифрових фільтрів проводиться з використанням Z- перетворень. Це пов'язано з тим, що в

першому випадку ми наявні сигнали у вигляді безперервної функції часу, а в другому - звукові сигнали є дискретними функціями часу.

Цифрові фільтри реалізуються на основі всього трьох елементів: затримка на один такт з передавальною функцією z^{-1} , двійковий суматор і двійковий помножувач. При побудові фільтрів на цих елементах використовуються прямі і зворотні зв'язки, коефіцієнти цих зв'язків позначаються, відповідно, як b_n та a_n .

Математично робота таких фільтрів описується різницеvim рівнянням (рівняння в кінцевих різницях), як залежність вхідного $x(n)$ і вихідного $y(n)$ сигналів в функції часу затримки, коефіцієнтів фільтра та дискретного часу nT , де n - номер вибірки, $T = 1/f_s$, f_s - частота дискретизації.[4]

Передавальна функція фільтра $H(z)$ визначається як відношення Z-образів вихідного $Y(z)$ і вхідного $X(z)$ сигналів. Модуль передавальної функції $|H(z)|$ є частотною характеристикою фільтра (АЧХ), фазова характеристика визначається аргументом цієї функції (ФЧХ). Цифрові фільтри можуть працювати в режимі посилення (boost), коли $|H(z)| > 1$ і в режимі ослаблення (cut), коли $|H(z)| < 1$.

Число нулів фільтра M на одиницю більше числа коефіцієнтів прямого зв'язку різницевого рівняння, а число полюсів N дорівнює числу коефіцієнтів зворотного зв'язку цього рівняння. Порядок фільтра визначається найбільшим з значень M і N , він також дорівнює порядку полінома різницевого рівняння. Складні фільтри 2 і більш високих порядків будуються на основі ланок меншого порядку. Ланки 1 і 2 порядків можуть включатися послідовно, паралельно або комбіновано. При послідовному з'єднанні ланок їх передавальні характеристики перемножуються, а при паралельному - підсумовуються.

1.1.3 Фільтри низьких і високих частот 1 порядку

Найпростіша схема фільтра ФНЧ 1 порядку з одним нулем на основі одного елемента затримки і суматора приведена на рис.1.3.

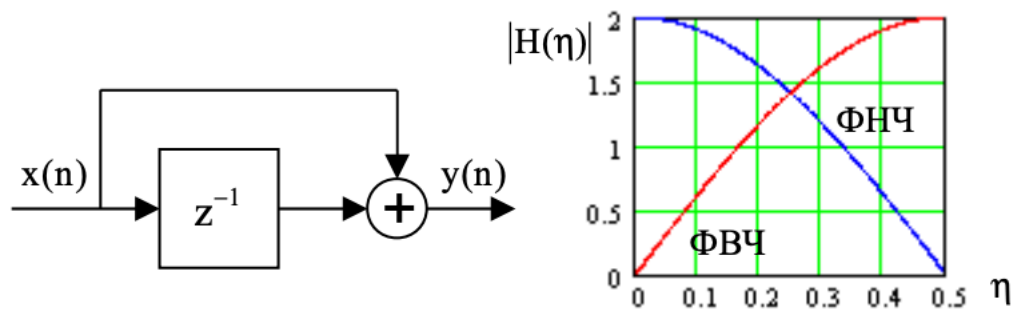


Рисунок 1.3 - Фільтр ФНЧ с одним нулем та його АЧХ

У цій схемі використовується прямий зв'язок, за допомогою якого підсумовуються прямий і затриманий сигнали. Робота такого фільтра описується різницевою рівнянням

$$y(n) = x(n) + x(n - 1) \quad (1.1)$$

Порядок цього рівняння визначає порядок фільтра. Передавальна функція фільтра в формі Z-перетворення має вигляд

$$H(\eta) = 1 + z^{-1}, \eta \leq 0,5. \quad (1.2)$$

де $z = e^{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot \eta}$ - оператор Z-перетворення, $\eta = f/f_s$ - відносна частота. Частотна і фазова характеристики цього фільтра визначаються рівностями:

$$|H(\eta)| = 2 \cdot \cos(\pi \cdot \eta), \arg|H(\eta)| = -\pi \cdot \eta \quad (1.3)$$

Для розширення функцій такого фільтра і можливості зміни передавальної функції в фільтр включаються два помножувача, за допомогою яких вводяться коефіцієнти b_0 і b_1 (рис.1.4.).

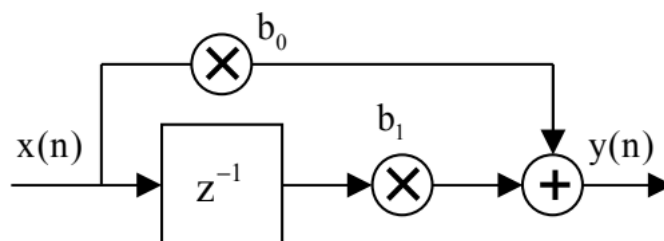


Рисунок 1.4 – Фільтр ФНЧ/ФВЧ

При цьому різницеве рівняння, його Z- перетворення і передавальна функція приймають вид:

$$\begin{aligned}
 y(n) &= b_0 x(n) + b_1 x(n-1), \\
 Y(z) &= b_0 X(z) + b_1 z^{-1} X(z) \\
 H(\eta) &= b_0 + b_1 \cdot z^{-1}, \quad \eta \leq 0,5.
 \end{aligned}
 \tag{1.4}$$

Якщо коефіцієнти b_0 і b_1 рівні 1 - це фільтр низьких частот. Якщо $b_0 = 1$, а $b_1 = -1$, то це фільтр високих частот. В цьому випадку його частотна і фазова характеристики описуються рівняннями:

$$|H(\eta)| = 2 \cdot \sin(\pi \cdot \eta), \quad \arg[H(\eta)] = \frac{\pi}{2} - \pi \cdot \eta
 \tag{1.5}$$

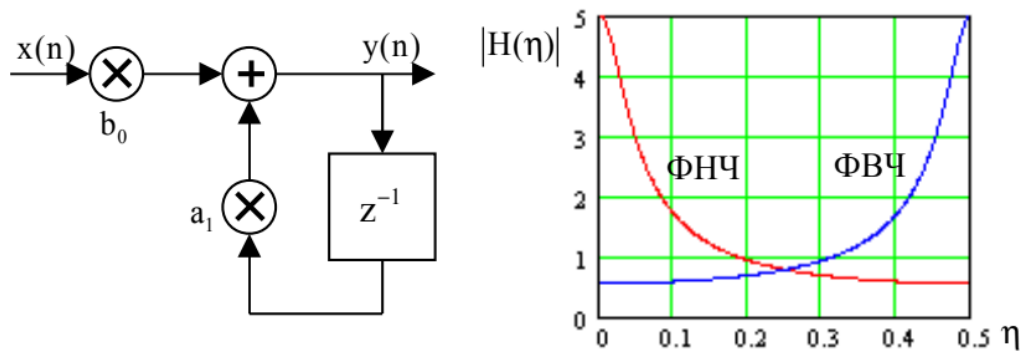


Рисунок 1.5 - Фільтр (ФВЧ/ФНЧ) з одним полюсом та його АЧХ

На рис.1.3. приведена частотна характеристика цього фільтра в режимі ФВЧ. Інший варіант побудови фільтра ФНЧ / ФВЧ 1 порядку з одним полюсом наведено на рис.1.5. У цій схемі використовується зворотний зв'язок, за допомогою якої підсумовуються прямий і затриманий сигнали, тому в різницевої рівнянні з'являється член з негативним знаком і коефіцієнтом a_1

$$y(n) = b_0(n) - a_1 y(n - 1) \quad (1.6)$$

Z - перетворення цього рівняння і передавальна функція цього фільтра визначаються рівняннями

$$\begin{aligned} Y(z) &= b_0 X(z) - a_1 z^{-1} Y(z), \\ H(z) &= \frac{b_0}{1 + a_1 z^{-1}}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Для цієї схеми фільтра, якщо $a_1 < 0$ - це ФНЧ, якщо $a_1 > 0$ - це ФВЧ. Даний фільтр має полюс при $a_1 = -z$ як в режимі ФВЧ, так і в режимі ФНЧ, фільтр має нуль при $z = 0$. На рис.1.5 наведені АЧХ цього фільтра в режимах ФНЧ і ФВЧ. Як видно, вони мають зовсім інший вигляд у порівнянні з графіками на рис.1.3. Фільтри 1 порядку зазвичай є складовими елементами більш складних фільтрів.

1.4. Цифрові фільтри частотної корекції

1.4.1. Фільтри еквайзерів типу Low-Cut і High-Cut

Фільтри Low-Cut і High-Cut, використовуються в аудіотехніці для різкого обмеження частотного діапазону звукового тракту в області низьких і високих частот. У вітчизняній технічній літературі їх часто називають обрізання. Для цих цілей застосовують фільтри Баттерворта - ФНЧ і ФВЧ. Такі фільтри характеризується трьома основними параметрами: частотою зрізу f_c , коефіцієнтом демпфування і порядком фільтра. Добротність цих фільтрів є величиною постійною, вона дорівнює $1/\sqrt{2}$. Під частотою зрізу розуміється частота, на якій спад АЧХ дорівнює мінус 3 дБ.

Порядок фільтра визначається порядком його передавальної функції або числом конденсаторів в електричній схемі. У аудіотехніці використовуються фільтри від 1 до 4 порядків. Чим вище порядок, тим вище крутизна спаду. У фільтрі 1 порядку крутизна спаду дорівнює 6 дБ на октаву, в фільтрі 2 порядку - 12 дБ на октаву, а в фільтрі 4 порядку - 24 дБ на октаву. Найбільш широко використовуються фільтри 2 порядку.

Найважливішою вимогою до такого фільтру є можливість плавної перебудови частоти зрізу фільтра без зміни коефіцієнта демпфування.

Цим вимогам задовольняють параметричні фільтри. Аналоговий прототип такого фільтра 1 порядку наведено на рис.1.6.

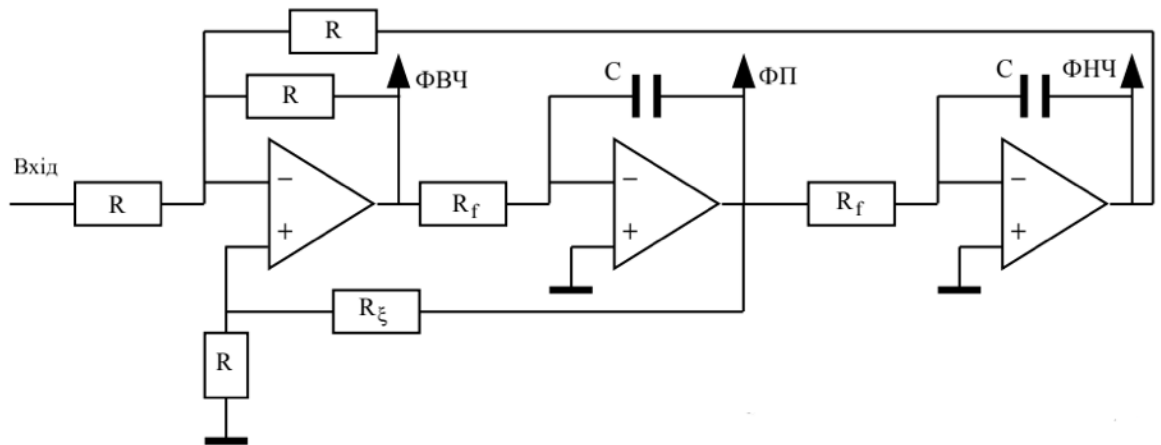


Рисунок 1.6 - Активний перелаштовуючий фільтр 1 порядку

Для цього фільтра частота зрізу і коефіцієнт демпфування визначаються рівностями:

$$f_c = 2\pi \cdot R_f C, \quad \xi = R / [2(R + R_f)], \quad (1.8)$$

З формули (1.8) видно, що частота зрізу f_c визначається тільки значенням параметра R_f . Якщо коефіцієнт демпфування ξ змінювати тільки за допомогою параметра R , то такі регулювання будуть взаємно незалежні.

Ще однією важливою перевагою фільтра даного типу є його універсальність. Він може виконувати функції ФНЧ, ФВЧ і смугового фільтрів в межах однієї конструкції.

У цифровій реалізації структура перелаштовуючого фільтра низьких і високих частот має вигляд, наведений на рис.1.7.

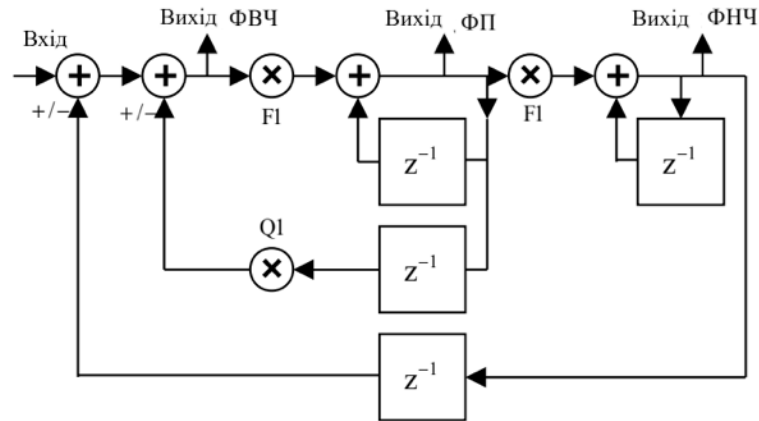


Рисунок 1.7 – перелаштовуючий фільтр 1 порядку

У схему фільтра входять 4 суматора, 3 помножника і 4 елементи тимчасової затримки на один такт з коефіцієнтом передачі z^{-1} . У фільтрі використовуються три ланцюга зворотного зв'язку. Робота такого фільтра описується трьома різницевиими рівняннями:

$$\begin{aligned} y_l(n) &= F_1 \cdot y_b(n) + y_l(n-1), \\ y_b(n) &= F_1 \cdot y_h(n) + y_b(n-1), \\ y_h(n) &= x(n) - y_l(n-1) - Q_1 \cdot y_b(n-1) \end{aligned} \quad , \quad (1.9)$$

$$F_1 = 2 \sin(\pi\eta), Q_1 = 2\xi, \eta = \frac{f_c}{f_s}, f_s - \text{частота дискретизації.}$$

На рис.1.8 приведена схема цифрового параметричного обрізного фільтра НЧ / ВЧ 1 порядку:

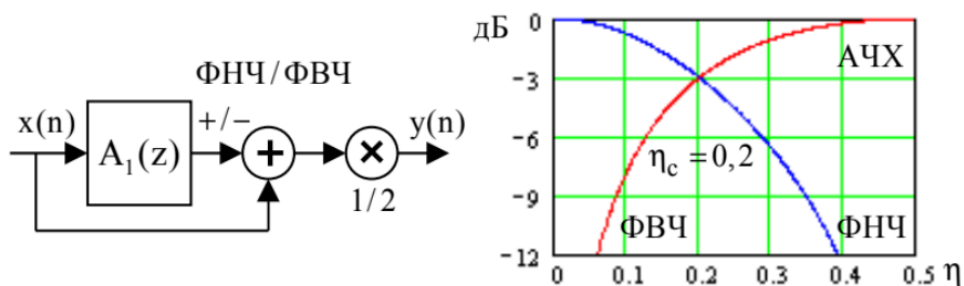


Рисунок 1.8 - Обрізний фільтр НЧ / ВЧ 1 порядку на основі всепропускаючого фільтра

Основою цього фільтра є всепропускаючий фільтр 1 порядку з передавальною функцією $A_1(z)$, яка визначається рівністю (1.6). На цьому ж рисунку показана форма АЧХ в двох режимах роботи з відносною частотою зрізу $\eta = 0, 2$ с. Крутизна спаду (підйому) АЧХ дорівнює 6 дБ на октаву. Передавальна функція цього фільтра

$$H(z) = \frac{1}{2}(1 \pm A_1(z)). \quad (1.10)$$

З формули 1.10 випливає, що для переходу з режиму ФНЧ в режим ФВЧ досить змінити знак у наведеній формулі з «+» на «-».

1.2 Динамічна обробка звукових сигналів

Динамічна обробка призначена для скорочення динамічного діапазону звукових сигналів. Звукові сигнали в радіомовленні, телебаченні та звукозапису завжди піддаються такій обробці, незалежно від того, аналогові вони або цифрові. Це пов'язано з тим, що часто динамічний діапазон природних звуків, музики й мови значно ширше динамічного діапазону електроакустичних трактів сучасної апаратури. Якщо не використовувати динамічну обробку і передавати повністю натуральний динамічний діапазон оркестру (70 ... 80 дБ), то щоб не заважали шуми приміщення, рівень сигналу піанісімо повинен бути не нижче 40 дБ SPL. Фортіссімо при цьому буде досягатися при рівні звукового тиску 120 дБ SPL, що близько до больового порогу. Динамічна обробка звукових сигналів дозволяє слухати радіо і телевізійні передачі зі звуковим тиском не вище 100 дБ SPL в звичайних житлових приміщеннях, в яких зазвичай рівень шуму не менше 40 ... 50 SPL і, навіть в автомобілях, де рівень шуму значно більше. Без такої обробки при піковому звуковому тиску не вище 80

дБ SPL (як в театрі) звукозапису можна було б слухати тільки в повній тиші, закривши вікна і двері, інакше будь-який сторонній шум заглушить тихі місця фонограми.[6]

Динамічна обробка звукових сигналів проводиться за допомогою лімітерів, максимайзерів, компресорів, експандерів і гейтів. Це все порогові пристрої, в яких при досягненні сигналу встановленого рівня їх коефіцієнт передачі змінюється стрибком. Таким способом можна як стиснути, так і розширити динамічний діапазон сигналу. У системах передачі звукових сигналів по лініях зв'язку скорочення і зворотне розширення динамічного діапазону проводиться за допомогою компандерної системи компресування. На вході лінії встановлюється компресор, а на виході - експандер, тому в такій системі сигнал компресований тільки в лінії зв'язку. Назви приладів такі ж, як і при динамічній обробці, але принцип їх роботи зовсім інший, на це потрібно звернути увагу.

1.2.1 Принцип динамічної обробки

Динамічна обробка звукових сигналів проводиться для звуження або розширення динамічного діапазону. Прилад або програмний модуль, що виконує цю функцію, називається динамічним процесором (DP). Динамічна обробка застосовується тільки для нестационарних сигналів з підйомами і провалами обвідної звукового сигналу. Рівень обвідної визначається за допомогою пікового детектора, при цьому одночасно обчислюється середньоквадратичне значення сигналу з часом інтегрування приблизно рівним постійної часу слуху - 50 ... 60 мс.[13]

Принцип цифрової динамічної обробки заснований на майже миттєвому зміні коефіцієнта передачі сигналів, коли рівень обвідної звукового сигналу стає вище (нижче) встановленого порога. Поріг може здаватися як піковим значенням рівня, так і середньоквадратичним.

Основними параметрами ДР є: передавальна характеристика (у вигляді графіка або функції), поріг спрацьовування, час встановлення (attack) T_u і час відновлення T_v коефіцієнта передачі. Перелом в передавальній характеристиці називається точкою перегину. Вхідний рівень, відповідний перегину, називається порогом, задається він в децибелах.[2] Кут нахилу графіка передавальної характеристики вище (нижче) точки перегину визначає коефіцієнт передачі підйомів (провалів) обвідної звукового сигналу. Залежно від виду передавальної характеристики ДР він може виконувати функції лімітера, компресора, експандера або гейта. Всі ці функції можуть бути реалізовані в одному пристрої або за допомогою одного програмного модуля. На рис.1.9 наведені типові передавальні характеристики цих пристроїв.

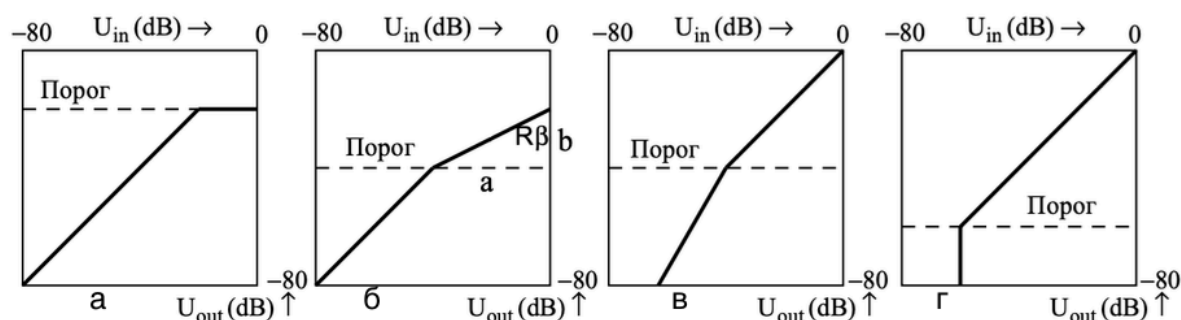


Рисунок 1.9 - Передавальні функції динамічних процесорів: а – лімітер, б - компресор, в – експандер, г – обмежувач шуму

Передавальна характеристика ДР однозначно визначає регулювальну характеристику, відповідно до якої змінюється коефіцієнт передачі регулюючого елемента ДР. Вигини і злами передавальної характеристики зумовлюють дискретний характер зміни коефіцієнта передачі регулюючого елемента ДР, і вони значною мірою визначають форму амплітудної обвідної динамічно обробленого звукового сигналу.

Лімітер обмежує динамічний діапазон зверху - піки і підйоми обвідної, значення яких перевищують граничний рівень, він послаблює до рівня, встановленого порогом. Компресор також обмежує динамічний діапазон зверху - підйоми обвідної, величина яких перевищує пороговий рівень, він послаблює відповідно до встановленої коефіцієнтом передачі вище точки перегину.

Різниця в роботі лімітера і компресора особливо помітна при малій швидкості наростання і спаду обвідної вхідного звукового сигналу (рис.1.10).



Рисунок 1.10 – Амплітудні обвідні вихідного сигналу DP при $T_u=T_v=0$

Всі злами амплітудної обвідної вихідного сигналу повністю відповідають моментам стрибкоподібної зміни коефіцієнта передачі. Як видно, при компресуванні схили амплітудної обвідної більш плавні. Зі збільшенням крутизни наростання і спаду обвідної вхідного сигналу, злами амплітудної обвідної стають все різкіше, аж до повного розриву, а різниця в роботі лімітера і компресора нівелюється.

Експандер розширює динамічний діапазон знизу - провали обвідної, рівень яких нижче порогового, він збільшує шляхом зменшення коефіцієнта передачі нижче точки перегину. Гейт обмежує динамічний знизу - всі сигнали в провалах обвідної, рівень яких нижче порогового він не пропускає. Ступінь стиснення (компресії) визначається відношенням коефіцієнтів передачі нижче і вище точки перегину передавальної функції. Тому вона може бути представлений як відношення збільшень вхідного і

вихідного сигналів в децибелах, наприклад, 18:6. Коефіцієнт передачі визначається також кутом нахилу передавальної функції β , тому ступінь стиснення може бути представлений у вигляді відношення сторін прямокутного трикутника a і b (рис.1.10). Якщо, наприклад, $a:b = 1:1$, кут нахилу дорівнює 45 градусам - це означає, що стиснення немає. Якщо $a:b = 2:1$ - це означає, що при збільшенні вхідного рівня на 2 дБ вище порогу вихідний рівень зростає лише на 1 дБ, отже, ступінь стиснення дорівнює 2.

1.2.2 Алгоритми роботи динамічного процесора

Динамічний процесор відноситься до регуляторів прямої дії. Його функціональна схема, наведена на рис.1.11, містить два ланцюги - основний канал і ланцюг прямого управління. В основному каналі вхідний сигнал затримується на час D , що задається числом вибірок. Необхідність введення затримки пов'язана з тим, що при динамічній обробці завжди керуючий сигнал запізнюється по відношенню до вхідного. Це перш за все пов'язано з тим, що в ланцюзі управління проводиться обчислення середньоквадратичного значення напруги з часом інтеграції близько 50 ... 60 мс.

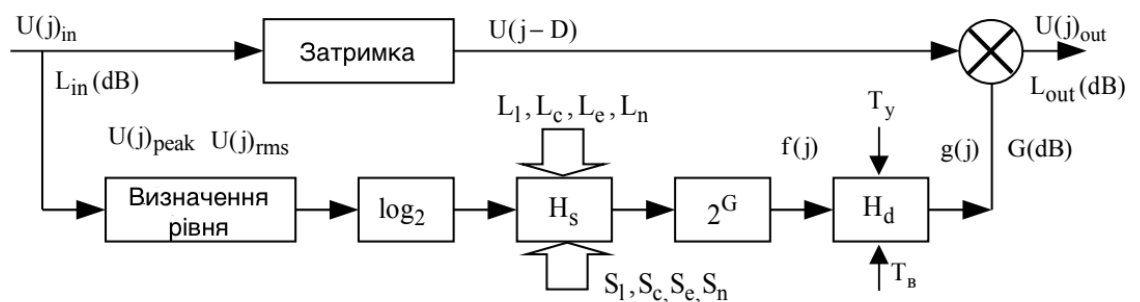


Рисунок 1.11 – Функціональна схема динамічного процесора

Крім того, для підвищення ефективності роботи DP необхідно, щоб зміна коефіцієнта передачі починалася дещо раніше, ніж підйом (спад) обвідної звукового сигналу, що зрівняється з встановленим граничним значенням. Така функція є майже у всіх сучасних DP під назвою look-ahead. Наведена схема може працювати як лімітер, компресор, експандер або гейт, а при необхідності виконувати всі ці функції одночасно. Залежно від режиму роботи DP в ланцюзі управління проводиться вимірювання пікового $U(j)_{peak}$ або середньоквадратичного значень $U(j)_{rms}$ вхідної напруги, а потім виконується логарифмування по основі 2. У блоці H_s формується математична модель статичної передавальної характеристики, що задається параметрами або в графічній формі на дисплеї в логарифмічному масштабі. Коли на дисплеї малюється передавальна функція, в цей блок автоматично вводяться дані про порогови роботи лімітера, компресора, експандера і гейта (L_l, L_c, L_e, L_n), а також дані про крутизну передавальної характеристики (S_l, S_c, S_e, S_n), вище (або нижче) цих порогів.

Операція антилогарифмування виконується в блоці 2^G . На виході цього блоку формується керуючий сигнал $f(j)$ відповідний статичної передавальної функції. У блоці H_s за заданим значенням часу встановлення T_u і часу відновлення T_v формується математична модель динамічної передавальної функції, яка визначає форму і тривалість перехідних процесів при зменшенні і збільшенні коефіцієнта передачі. У множителі основного каналу під дією керуючого сигналу $g(j)$ формується динамічно оброблений вихідний сигнал:

$$U(j)_{out} = g(j) \cdot U(j - D), \quad (1.11)$$

де j - поточний номер вибірки. У логарифмічному масштабі операція множення замінюється операцією підсумовування статичного сигналу управління $G(dB)$ з вхідним сигналом $L_{in}(dB)$

$$L_{out}(dB) = L_{in}(dB) + G(dB). \quad (1.12)$$

Статична передавальна характеристика ДР визначає залежність між вхідним і заданим вихідним рівнями. З її допомогою розраховується статична регулювальна характеристика (рис.1.12.), яка визначає залежність рівня сигналу, що управляє множителем ДР від рівня вхідного сигналу. По ній же визначається швидкість зміни регулюючого сигналу в залежності від швидкості наростання або спаду обвідної на вході ДР.

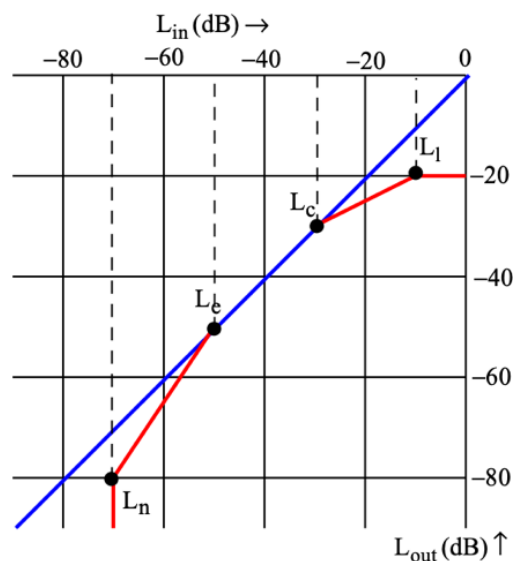


Рисунок 1.12 – Статична передаточна характеристика динамічного процесора

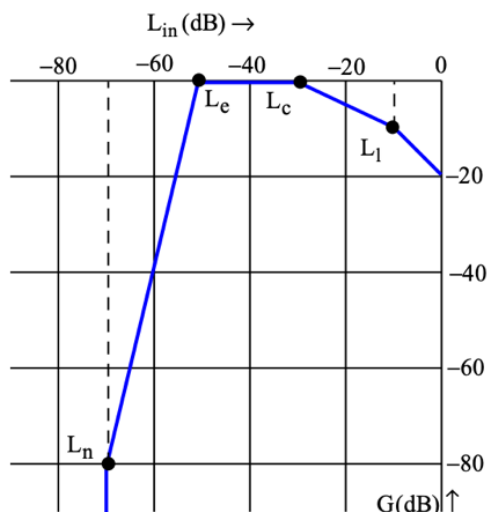


Рисунок 1.13 – Статична регулююча характеристика динамічного процесора

На рис.1.12 і 1.13 наведені складні за формою статичні характеристики ДР, який виконує всі можливі функції. Якщо поріг не заданий, коефіцієнт передачі у всьому діапазоні вхідного сигналу дорівнює 0 дБ і рівень сигналу, що управляє $G(\text{dB})$ також дорівнює 0 дБ. У режимі компресора для вхідних сигналів з рівнем обвідної вище з порога L_c коефіцієнт передачі стрибком зменшується до значення, обумовленого графіком, і далі залишається постійним до рівня мінус 10 дБ. При цьому рівень сигналу, що управляє $G(\text{dB})$ лінійно зменшується з 0 до мінус 10 дБ.

- У режимі лімітера для вхідних сигналів з обвідної вище порога L_l коефіцієнт передачі стрибком зменшується до порогового рівня мінус 20 дБ. При цьому рівень сигналу, що управляє $G(\text{dB})$ лінійно зменшується з мінус 10 до мінус 20 дБ.
- У режимі експандера для вхідних сигналів з рівнем обвідної нижче порога L_e , рівного на рис. мінус 50 дБ коефіцієнт передачі стрибком зменшується до значення, заданого графіка, і далі залишається постійним до рівня вхідного сигналу мінус 70 дБ. При цьому рівень сигналу, що управляє лінійно $G(\text{dB})$ зменшується від 0 до мінус 80 дБ.

- У режимі гейта для вхідних сигналів з рівнем обвідної нижче порога L_n , рівного за графіком мінус 70 дБ коефіцієнт передачі стрибком зменшується до $-\infty$, відбувається відсічення шумів. При цьому рівень сигналу, що управляє $G(\text{dB})$ також стрибком зменшується до мінус нескінченності.

1.3 Звукові ефекти

1.3.1 Цифрові ефекти затримки

Блок затримки (Delay) - це простий блок зберігання, наприклад, місце пам'яті. Зразок поміщається в пам'ять, зберігається, потім через деякий час відкликається і виводиться. Одиниця затримки може бути описана рівнянням:

$$y(n) = x(n - m), \quad (1.13)$$

де m - затримка у вибірках.

Як правило, коли затримка невелика, частотна характеристика сигналу змінюється; коли затримка довша, виникає відлуння. Як і у фільтруванні, для створення складних ефектів може бути використана проста затримка. Наприклад, на рис. 1.14А показана ехограма з використанням блоку затримки. Затримка mT має тривалість m вибірок, а вибірки множать на коефіцієнт посилення (коефіцієнт масштабування), менший від одиниці. Якщо час затримки встановлено між 10 мс і 50 мс, виникає ехо; з меншими фіксованими затримками, результат - реакції гребінчастого фільтру, як показано на рис. 17.20Б.

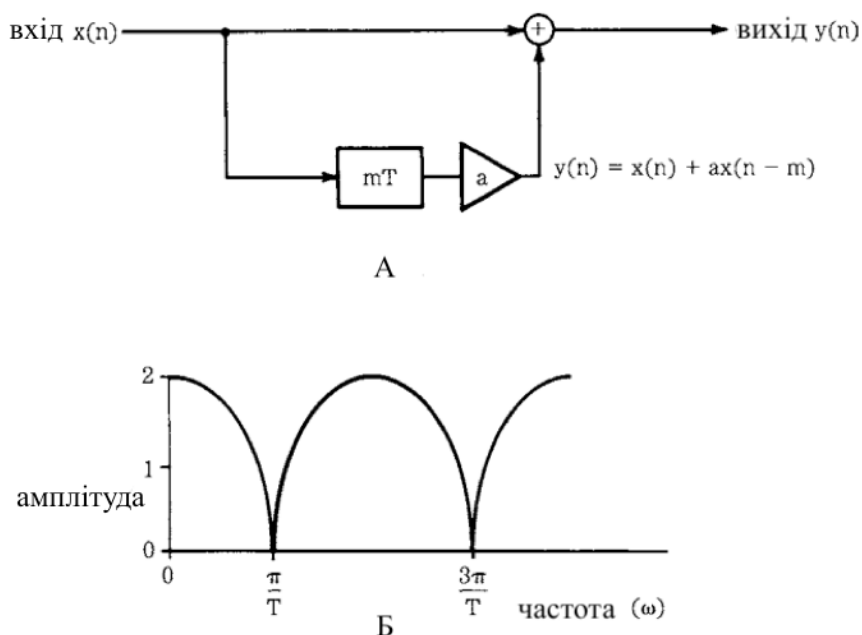


Рисунок 1.13 – Блок затримки використаний для створення ехо-ланцюга.

А – Схема містить етап затримки та посилення mT . В. З меншим часом затримки вийде реакція гребінчастого фільтра(Б).

Піки і пониження однаково розташовані через частотну характеристику, від 0 Гц до частоти Найквіста. Кількість піків залежить від часу затримки; чим довша затримка, тим більша кількість піків. Якщо час затримки ланцюга на рис. 1.13А повільно змінюється між 0 мс і 10 мс, гребінчастий фільтр, що змінюється за часом, створює ефект фланцювання. Якщо час затримки змінюється між 10 мс і 25 мс, досягається ефект подвоєння, створюючи відчуття супроводжуючого голосу. Ефект хору забезпечується, коли сигнал направляється через кілька таких блоків, з різними варіаціями затримки. Гребінчастий фільтр може бути рекурсивним або нерекурсивним. Він каскадує низку елементів затримки, створюючи нову реакцію. Математично видно, що нерекурсивний гребінчастий фільтр, такий як описаний вище, може бути сконструйований додаванням вхідного зразка до того ж запізнілого зразка:

$$y(n) = x(n) + ax(n - m), \quad (1.14)$$

де m - час затримки у зразках.

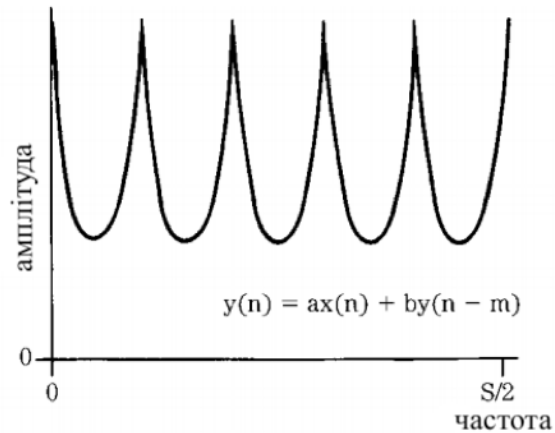


Рисунок 1.14 – Зубчаста частотна характеристика рекурсивного гребінчастого фільтра, що створює затримку із зворотним зв'язком,

Рекурсивний гребінчастий фільтр створює затримку із зворотним зв'язком. Сигнал затримки ослаблений і подається назад у затримку:

$$y(n) = ax(n) + by(n - m). \quad (1.15)$$

Кількість піків залежить від тривалості затримки; чим довша затримка, тим більша кількість піків. Всепропускаючий фільтр має рівну частотну характеристику від 0 Гц до частоти Найквіста. Однак його фазова реакція спричиняє затримку різних частот на різну кількість. Фільтр всепропускання може бути описаний як:

$$y(n) = -ax(n) + x(n - 1) + by(n - 1). \quad (1.16)$$

Якщо затримку у вищезазначених схемах замінити цифровим фільтром повного пропускання або каскадом фільтрів всепропускання, досягається поступовий ефект:

$$y(n) = -ax(n) + x(n - m) + by(n - m). \quad (1.17)$$

Ефект стає більш вираженим по мірі збільшення затримки. Система виявляє нерівномірно розташовані виїмки у своїй частотній характеристиці, змінюючись незалежно від часу.

1.3.2 Гребінчастий фільтр

Коли у двох хвиль, що комбінуються, різні амплітуди, фази і частоти, створюється більш складна ситуація зі збереженням принципу суперпозиції. Даний акустичний ефект гребінчастої фільтрації настільки поширений при роботі зі звуком і настільки руйнівний, що заслуговує на окрему увагу.

Фаза (φ) для будь-якої частоти (f) з будь-якої тимчасової затримкою (t) визначається за формулою:

$$\varphi = 2\pi ft, \quad \varphi = \omega t \quad (1.18)$$

Коли два ідентичних сигнали мають фазовий зсув φ , їх сумарна амплітуда залежить від самого значення φ . Якщо $\varphi = 0$ то їх сумарна амплітуда дорівнює $2A$ (якщо вважати, що кожен сигнал мав рівень рівний A). Якщо дві хвилі, мають різницю в фазі рівній 180° (або в π радіан), вони повністю гасять один одного, і їх результуюча амплітуда дорівнює нулю. При цьому можна знайти сумарну амплітуду цих сигналів для різних значень φ з цього виразу:

$$AR = | 2\cos (\varphi / 2) | A, \quad (1.19)$$

де AR - сумарна амплітуда,

A - амплітуда двох однакових хвиль,

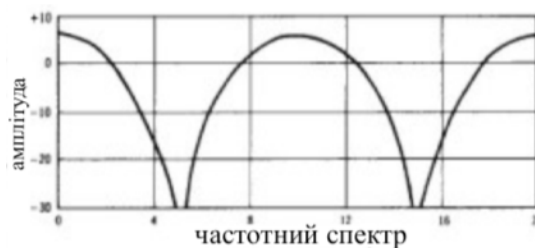
φ - різниця фаз двох однакових сигналів.

Модуль від $2\cos (\varphi / 2)$ береться тому, що сигнал приймає завжди абсолютно позитивні значення. Якщо поєднати вирази 1.18 і 1.19, отримається наступна формула:

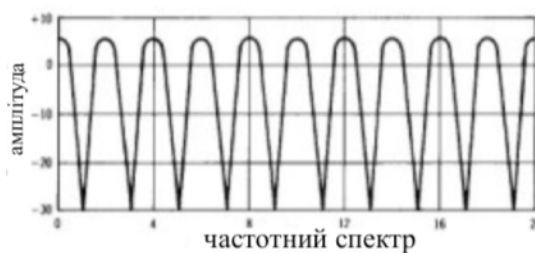
$$AR = | 2\cos (\pi ft) | A, \quad (1.20)$$

де f вимірюється в герцах, а t в секундах.

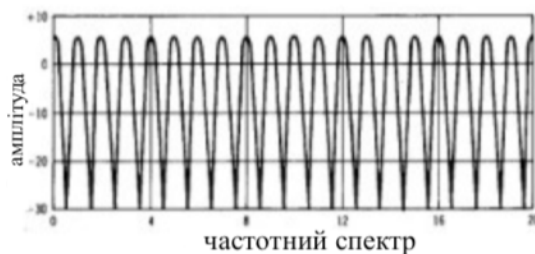
Необхідно зауважити, що вираз πft вимірюється в радіанах, а не в градусах. Враховується також циклічна природа косинуса ($\cos 0 = 1$, $\cos \pi / 2 = 0$, $\cos \pi = -1$, $\cos 3\pi / 2 = 0$, $\cos 2\pi = 1$, і так далі).[7] Комбінування двох ідентичних хвиль з затримкою в t секунд між собою, породжує серію синусоїдальних форм (такої ж форми як косинусоїдальна хвиля) з негативним інвертованим відхиленням. Форми сигналу з затримкою в 0,1, 0,5, і 1,0 мс показані на Рис. 1.15, з лінійною шкалою частот. [6]



А



Б



В

Рисунок 1.15 – А – Частотний спектр для затримки в 0,1 мілісекунди, Б – для затримки в 0,5 мілісекунди, В – для затримки в 1 мілісекунду

На частотах, де дві хвилі синфазні, амплітуда подвоєна (+ 6 дБ); коли вони не збігаються по фазі в 180° , помітно глибокі вирізки спектра. Вираз «гребінчастий фільтр» з'явилося саме через таку зовнішню схожість з гребінцем або гребенем. На рис. 1.16 ті ж графіки, тільки вже з більш звичним логарифмічним відображенням шкали частот.[10]

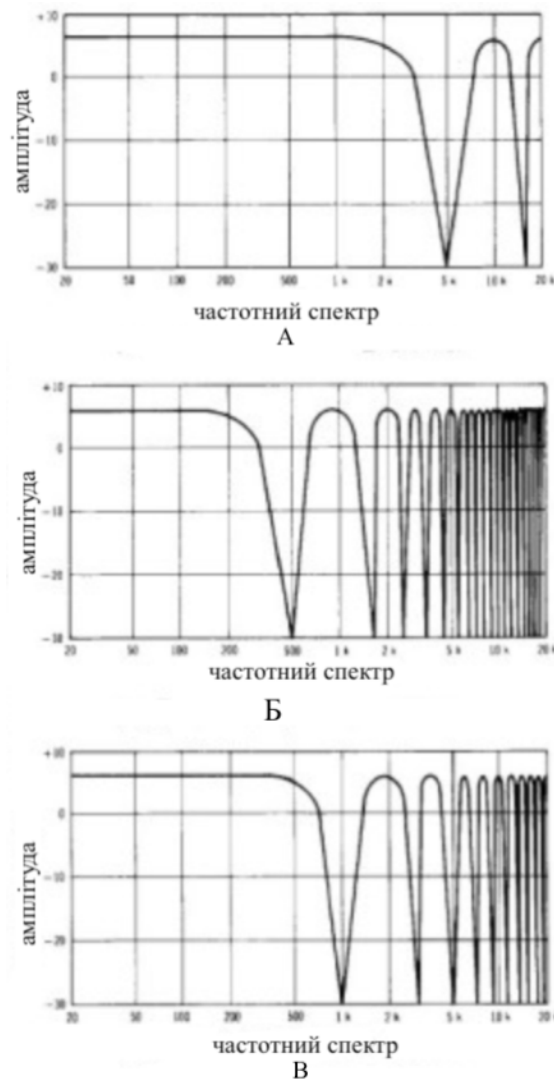


Рисунок 1.16 – Зображення частотного спектру на логарифмічній шкалі: А – частотний спектр для затримки в 0,1 мілісекунди, Б – для затримки в 0,5 мілісекунди, В – для затримки в 1 мілісекунду

Кожен раз, коли косинус виразу 1.20 дорівнює одиниці, $AR = 2A$. Так як розглядається амплітуда напруги або звукового тиску, пікове значення амплітуди в $2A$ можна виразити в децибелах за формулою:

$$\text{амплітуда} = 20 \log AR / A = 20 \log 2 = + 6.02 \text{ dB} \quad (1.21)$$

Для вирізаних частот ця формула, також дійсна, і добре описує процес:

$$\text{амплітуда} = 20 \log 0 / A = 20 \log 0 = -\infty \text{ dB} \quad (1.22)$$

На практиці, звичайно, цей показник дорівнює діапазону від 20 - 40 дБ, а не мінус нескінченності. Рисунки відносяться до будь-якого складного звуку (голосу або до музичного сигналу), який підсумовується сам собою з наведеними інтервальними затримками. Для 0,1 мс буде спостерігатися виріз на рівні 5 кГц і на рівні 15 кГц. На цих частотах при 0,1 мс сигнали знаходяться в протифазі і тому в спектрі утворюються порожнечі. Сигнали входять в фазу - спостерігається широкий «підйом» частотних смуг. Ще більше виникає пустот і підйомів при різниці в фазі в 0,5 мс і 1мс.

1.3.3 Цифрова реверберація

Реверберація як ефект характеризуються затримкою, відносною гучністю та частотною характеристикою. Наприклад, в акустиці кімнати затримка визначається розміром приміщення, а гучність і частотна характеристика визначаються звукопоглинанням поверхонь і формою приміщення. Цифрова реверберація ідеально підходить для маніпулювання цими параметрами аудіосигналу шляхом штучного створення акустичних середовищ. Оскільки реверберація складається з великої кількості фізичних звукових шляхів, схема цифрові реверберації повинна одночасно обробляти багато елементів даних. Обидві лінії реверберації та затримки є пристроями з короткою пам'яттю. Чиста затримка приймає вхідний сигнал і відтворює його пізніше, можливо, кілька разів через різні проміжки часу. З реверберацією сигнал неодноразово змішується з самим собою під час зберігання з постійно коротшими інтервалами та зменшенням амплітуд. У рядку затримки процесор підраховує послідовно RAM-адреси, повертаючись до першої адреси після досягнення останньої. Посил на запис видається на кожен адресу, і вибіркового вхідного сигналу направляється в оперативну пам'ять. Таким чином, аудіоінформація постійно зберігається в

оперативній пам'яті протягом періоду часу, поки вона не буде зміщена новою інформацією. За час між операціями запису послідовно можна видавати кілька інструкцій з читання з різними адресами. Регулюючи числові різниці, можна визначити час затримки для різних сигналів. При цифровій реверберації збережена інформація зчитується кілька разів і множить на коефіцієнти, менші від одиниці. Результат додається разом для отримання ефекту суперпозиції відбиттів із зменшенням інтенсивності.

Програма обробки в ревербераційному блоці відповідає серії та паралельній комбінації багатьох таких систем зворотного зв'язку (наприклад, 20 і більше). Часто використовуються рекурсивні конфігурації. Ревербератор з одиничним нулем, показаний на рис. 1.17А, генерує експоненціальне зменшення імпульсного відгуку, коли блок посилення менший за одиницю. Він функціонує як гребінчастий фільтр з піками, розміщеними зворотно часу затримки. Відлуння розміщені за часом затримки, і час реверберації можуть бути задані як:

$$RT = 3T / \log_{10} (a), \quad (1.23)$$

де T - затримка в часі, a - коефіцієнт.

Розрізи можуть бути каскадними, щоб отримати більш щільно розташовані відлуння; однак можуть виникнути резонанси та ослаблення, що є незадовільним результатом. Альтернативно, секція реверберації може бути сконструйована з всепропускного фільтра.

Фільтр, показаний на рис. 1.17В, є всепропускним, додаючи частину неперевіреного сигналу до виходу.

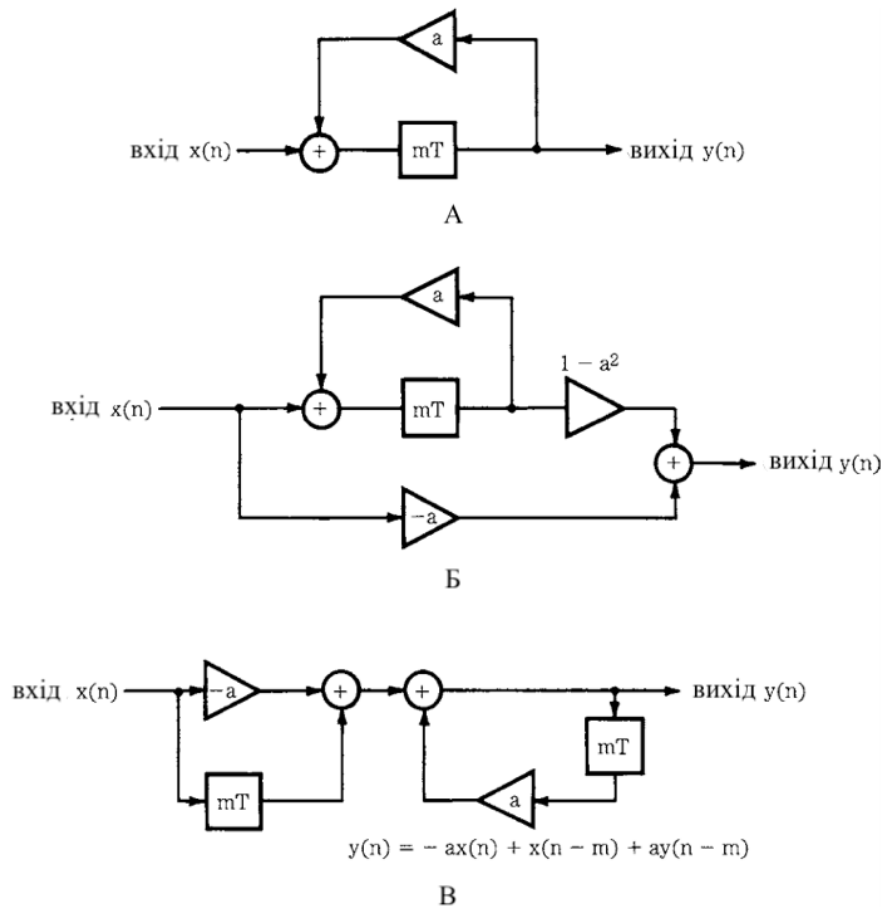


Рисунок 1.17 – Алгоритми реверберації з рекурсивних конфігурацій. А. Проста схема реверберації, отримана від гребінкового фільтра. В. Схема реверберації, отримана від всепропускаючого фільтра. С. Схема реверберації, побудована з повнополіусного перерізу.

Можливі й інші типи конфігурацій; наприклад, на рис. 1.17В показаний повнополіусний переріз ланцюга реверберації, який можна описати рівнянням:

$$y(n) = -ax(n) + x(n-m) + ay(n-m). \quad (1.24)$$

Відстань між однаково розташованими піками в частотній характеристиці визначається часом затримки, а їх амплітуда встановлюється коефіцієнтами масштабування.

Висновки до розділу

У першому розділі розглянуто існуючі способи реалізації та алгоритми обробки звукового сигналу та проаналізовано цифрові та аналогові засоби обробки. З порівняння цих засобів видно, що кожний з них має свої переваги, недоліки та особливості. Цифрові – багатофункціональні мобільні засоби, що є досить якісними та не псуються від зовнішніх факторів. Аналогові пристрої, в свою чергу мають неперевершений ефект, який неможливо отримати від дискретного сигналу, але такі пристрої дорогі, громіздкі та потребують догляду.

2. ОБРОБКА ТА МАСТЕРИНГ МУЗИЧНОЇ КОМПОЗИЦІЇ

2.1 Організація аудіодоріжок

Один з перевірених часом способів зробити у навігацію в проекті більш інстинктивною - це стандартизувати розташування аудіодоріжок з інструментами у аранжуванні. Частиною цього процесу є розміщення найважливіших інструментів так, щоб була можливість легко отримати доступ до них і додатково під мікшувати будь-які інші великі групи аудіодоріжок через мікшер без всяких витрат.

Звичайно, в системах мікшування DAW (типових для багатьох невеликих студій), все це відбувається з меншою кількістю проблем, але загальний принцип розташування аудіодоріжок залишається тим же: якщо від проекту до проекту дотримуватись якогось одного універсального підходу, то все це заощадить час і очистить розум для роботи і прийняття саме дієвих рішень під час роботи. Практично у кожній програмі мікшування тепер є складні організаційні системи для їх аудіодоріжок, тому, перш за все, необхідно почати з вивчення їх структури, щоб створити візуальний зв'язок між усіма аудіодоріжками, наприклад, перкусії або забезпечити хороше управління ритм-гітарами або бек-вокалом.

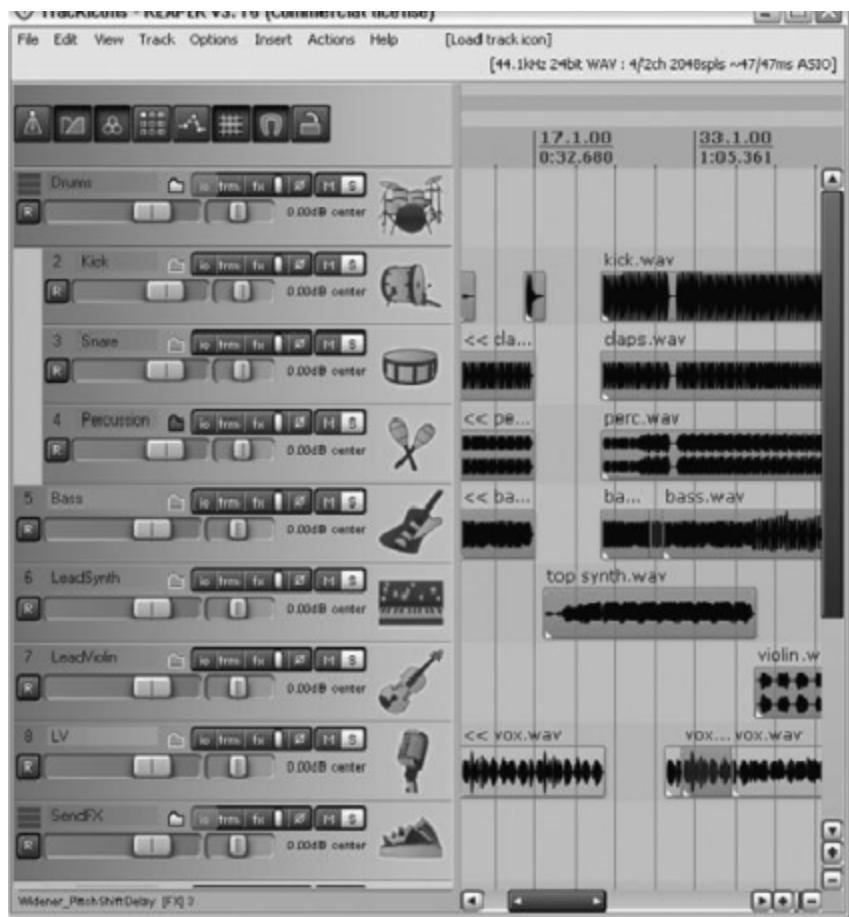


Рисунок 2.1 – Приклад організації аудіодоріжок в цифровій робочій аудіостанції

2.1.1 Pitch Shifter (пітч-шифтер)

Поліпшити якість корекції можна, вибравши правильні інструменти для роботи. З одного боку, необхідно досягти відмінної якості звуку, що само по собі в більшості випадків штовхає на пошук такої програми, яка буде мати найменшу кількість неприємних побічних ефектів. З іншого боку, треба зберегти якомога більше музичальності, опираючись будь-яким засобом автоматизованого виправлення, завдяки чому можна зробити трек неприродним за звучанням.



Рисунок 2.2 – Інтерфейс пітч-шифтера Celemony Melodyne

І хоча плагіни по корекції висоти тону в реальному часі (в онлайн режимі) є майже у всіх сімейств DAW, а також сторонні програмні продукти від таких компаній, як Antares, Celemony і Waves, все ж є багато чого сказати про коректори висоти тону, що використовують в режимі офлайн секвенсор як редактор. Головна причина, яка змушує трек дисонувати, полягає в тому, що центр тону кожної ноти не відповідає контексту міксу в момент її програвання. Поки центри висоти знаходиться в тональності, будь-які коротші дрейф тону головним чином просто сприяють більш природному фразуванню, наближаючи до реальної гри.

Крім того, офлайнова робота дозволяє простежувати результат крок за кроком, керуючи самим алгоритмом коригування, регулюючи параметри, що задовольняють кожну підправлену ноту. Наприклад, необхідно зберегти довжину сесії після зміни її висоти так, щоб ритмічність змінювалася в часі, а це особливо актуально для DSP коду - можна зіткнутися з неприпустимими аудіо збоями від випадку до випадку. Якщо вимикання опції «Автокомпенсація довжини» в деяких плагінах усуває незначні звукові дефекти, то можна взагалі використовувати офлайн pitch

shifter, а компенсацію ритмічності дотримати методом квантизації або іншими видами часового викривлення (Warping).

Програми, які змінюють висоту ноти також часто застосовують додаткову обробку, щоб зберегти характерні інструментальні і вокальні резонансні максимуми (інакше звані формантами), тим самим зберігаючи співака від неприроднього звучання, коли вокал підіймається вгору або вниз по регістру. Для тонкого тонового коригування, відсутність автокорекції формант в більшості випадків не сильно торкнеться характер звуку, але воно допоможе зробити звук більш плавним.[5]

Antares були першими, хто дійсно привніс цю технологію в маси у вигляді плагіна Auto-Tune plugin, але з тих пір багато інших фірм забезпечили різновид програм на основі даної функціональності, і вони тепер вбудовані в багато системи DAW, тощо як Apple Logic (Pitch Corrector), Steinberg Cubase (Pitch Correct), і Cockos Reaper (RealTune). Хоча вони дозволяють досягти моментального результату, їх проблема полягає в тому, що вони мають тенденцію обробляти все, що проходить через них з однаковим ступенем, а це значить, що на галасливих або транзієнтних сигналах можуть виникнути артефакти, при цьому будь-які виконавчі нюанси (наприклад, вібрато) будуть спотворені. Однак, використання авторегуляторів плагіна може принести певні можливі рішення, але основна проблема - це виявлення висоти і її виправлення все ще залишається за людським музичним інтелектом.

Інша група додатків займається проблемою виявлення висоти заздалегідь сканування аудіо, щоб більш розумно проаналізувати дані в режимі офлайн. Це не тільки призводить до меншої кількості помилок (причому програми мають засіб для їх виправлення), але також допускає більш глибокий метод обробки нот. Останні версії Antares Auto-Tune, Celemony Melodyne і Waves Tune, мають даний функціонал. Тому саме такі

програми рекомендуються якщо потрібен менш швидкий, але «музичний» варіант редагування.



Рисунок 2.3 – Повна «автоматизація» вокалу. Коректор висоти тону GVST's GSnap тут управляється в офлайн режимі і від цього трек звучить більш музично.

2.1.2 Конфліктуючі тембри

Типова проблема в аранжуваннях полягає в тому, що звуки стикаються між собою в одній колії, при однакових регістрах, або, можливо, доцільніше було б відредагувати партію цієї гітари таким чином, щоб вона грала тільки в тих моментах, коли один з інших елементів не вимагає від слухача пильної уваги. Це замінює гітарою один з трьох головних фокусів на мить, що не відбирає увагу слухача від них під час основного біта, де їх присутність важлива. Більшість елементів аранжування грає щось цікаве в певний момент часу, тому спроба виключити якнайбільше нецікавого матеріалу призведе до того, що звільниться місце для більш важливих структурних партій. Цей простий прийом може повністю перетворити мікс в кращу сторону, тому що сфокусує вухо слухача на те, що більш цікаво в музичному плані.[2]

2.1.3 Баланс інструментів в міксі

Після підготовки проекту міксу, регулювання ритмічності та згладження артефакти тональних неточностей, аранжування скориговане і не перевантажує мікс. На пульті мікшера все повзунки скинуті на нуль, і можна приступати к мікшуванню.

Перше завдання, яке постає перед звукорежисером - це баланс, - дуже просте поняття, яке виражає один з найскладніших процесів звуковиробництва. Кінцевою метою буде створений ясно чутний звук і належний рівень гучності з усіма партіями і всюди в усій фонограмі протягом усього часу. Ідея «грубого мікшування» полягає в тому, щоб просто зробити так, щоб все було чути, тобто зробити такий баланс, при якому всі партії будуть прослуховуватись для всіх. І справді, - адже для запису це і треба - просто почути все.

Порядок, в якому почнеться мікшувати частини фонограми, вплинуть на кінцевий звук роботи. З цього, порядок проходження - це те з чого варто почати мікшування.

2.1.4 Фільтрація нижніх частот

Очищення низькочастотної області аудіодоріжки є першою роботою для спеціального плагіна: фільтра високих частот. Він дозволяє скоротити або послабити проблемні частоти. Характеристика видалення спектра нижче межі зазвичай виражається в децибелах на октаву, і ще деякі вдосконалені види такого фільтра дають можливість додаткового регулювання. Незважаючи на те, що можна знайти еквайзери зі зрізом в 72дБ / октаву або більше, у них можуть бути побічні артефакти, доцільніше дотримуватися порівняно помірних нахилів фільтра в 6, 12, і 18дБ / октаву

(іноді званий 1-, 2-, і 3 полюсні фільтри, або фільтри першого, другого і третього порядку) для універсальної роботи при фільтрації.[1]



Рисунок 2.4 – Цифрові частотні фільтри

2.1.5 Профілактичні заходи для низькочастотної області

Перш за все, треба намітити робочу область настільки точно, наскільки це потрібно для низькочастотного спектру. Перш за все, під цим мається на увазі еквалізація фільтром високих частот всіх доріжок в міксі, що б видалити всі небажані низькочастотні дефекти. На всіх інструментах окрім бас-барабана і баса, нижче 120 - 150 Гц завжди є низькочастотна флуктуація. Фільтрація нижче цих частот завжди робить фонограму чистішою, їх фільтрування обов'язкове, навіть за тієї умови, що еквалізація забирає чутний спектр фонограми; інакше буде втрачений загальний рівень гучності треку.



Рисунок 2.5 – Варіант базової фільтрації низькочастотного спектру

В обмеженні низькочастотного спектра у інших аудіодоріжок фонограми також є і інші переваги. По-перше, це дозволяє провести більш якісний моніторинг додатковими методами, так як в даному випадку басовий діапазон буде вільний для одного інструмента, а не для набору з усіх низькочастотних спектрів. По-друге, якщо після мікшування готового треку виявиться, що бас не відповідає комерційному рівню, то при мастерингу можна легко підкоригувати низькочастотний діапазон, не зачіпаючи всі інші інструменти в міксі і тим самим не ставлячи під загрозу ясність самої фонограми.

2.1.6 Стереодоріжки і моносумісність

Все що було сказано про моно, також відносяться до записів стерео при початковій стадії балансуванню проекту. Перший момент, на який варто звернути увагу, це те, що деякі системи записують стерео в формі двох монофайлів (іноді їх називають "роздільним стерео"). Потрібно розуміти, що при такому випадку, будуть використовуватись окремі канали для панорамування в крайнє ліве і праве положення.

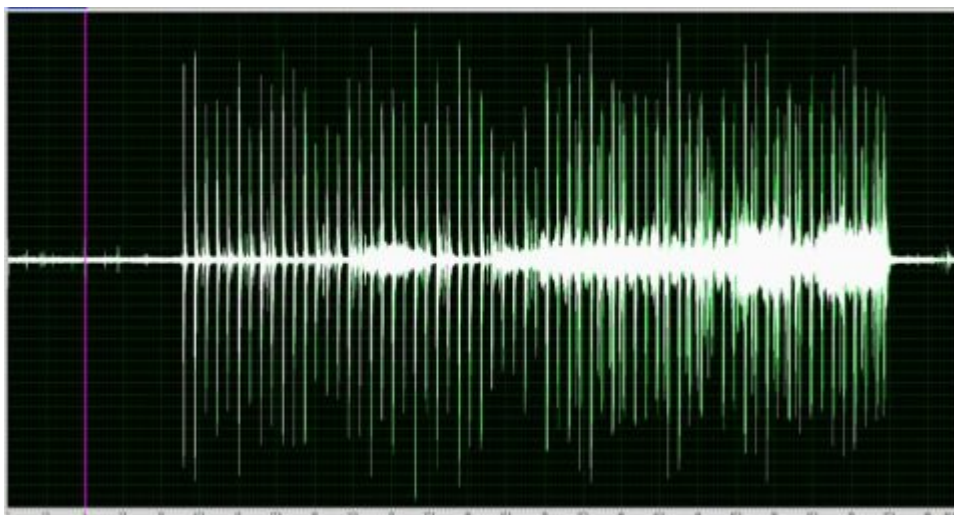


Рисунок 2.6 – Амплітудна характеристика монодоріжки

Основне занепокоєння при роботі з файлами стерео викликає фаза або проблема полярності, яку можна почути при конвертації в моно. Звук будь-якого стерео буде завжди щось втрачати при переході в моно, але якщо є все ж дуже явні артефакти, то першим ділом необхідно звернути увагу на те, що у одного з двох потоків могла бути змінена полярність.

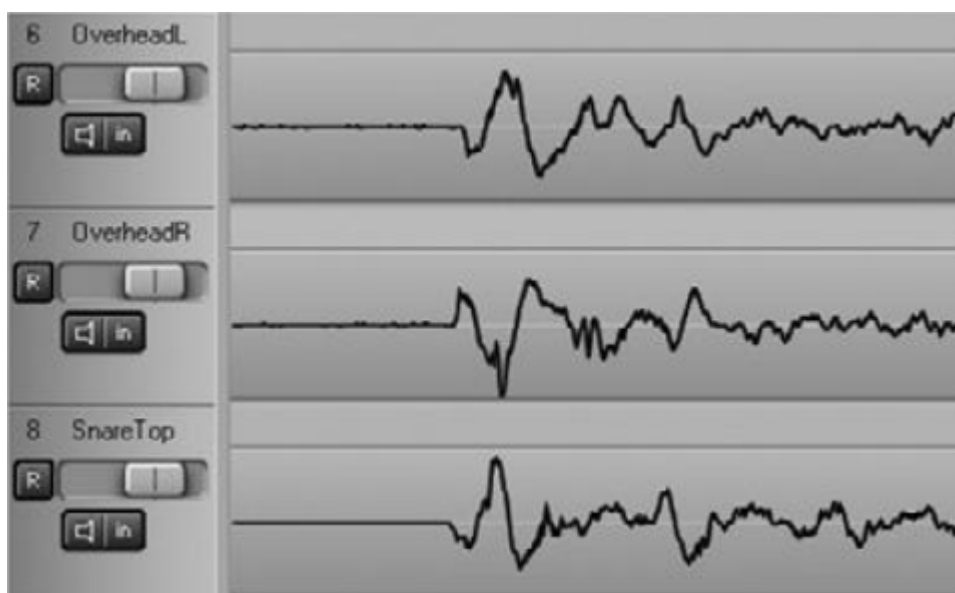


Рисунок 2.7 – Фазова несуміність лівого та правого моноканалу стереосигналу

У більшості випадків, це легко визначити на око, порівнюючи ліві і праві форми сигналу, особливо при відображенні їх в одному файлі (зазвичай DAW показує сигналограму лівого і правого каналу одного стереофайла). Якщо в програмі, що використовується немає можливості змінити полярність, то на допомогу прийдуть плагіни, з функцією інверсії полярності. Якщо, після того як полярність виправлена, гребінчата фільтрація все одно губить монозвук, то це говорить про те, що на два мікрофона приходять сигнали з невеликим розходженням в фазі. Іншими словами, якщо помітно чітку затримку між формами сигналів у двох аудіопотоків, можна мінімізувати звукові дефекти в моно, якщо два монофайла розташувати так, щоб їх форми збігалися, але треба зауважити, що це не завжди добре впливає на стерео картину.

2.2 Компресія звуку

Компресор фактично є фейдером, але з програмованою частиною управління, яка змушує його працювати в режимі реального часу. Він забезпечує рішення даної проблеми шляхом звуження динамічного діапазону. Якщо сказати точніше, то він компресує (стискає) різницю між рівнями гучності, тим самим даючи можливість знайти і виставити фейдери в більш стабільне положення. Таким чином, його робота полягає у вирівнюванні за рівнем найгучніших сигналів в аудіодоріжці з самими тихими.

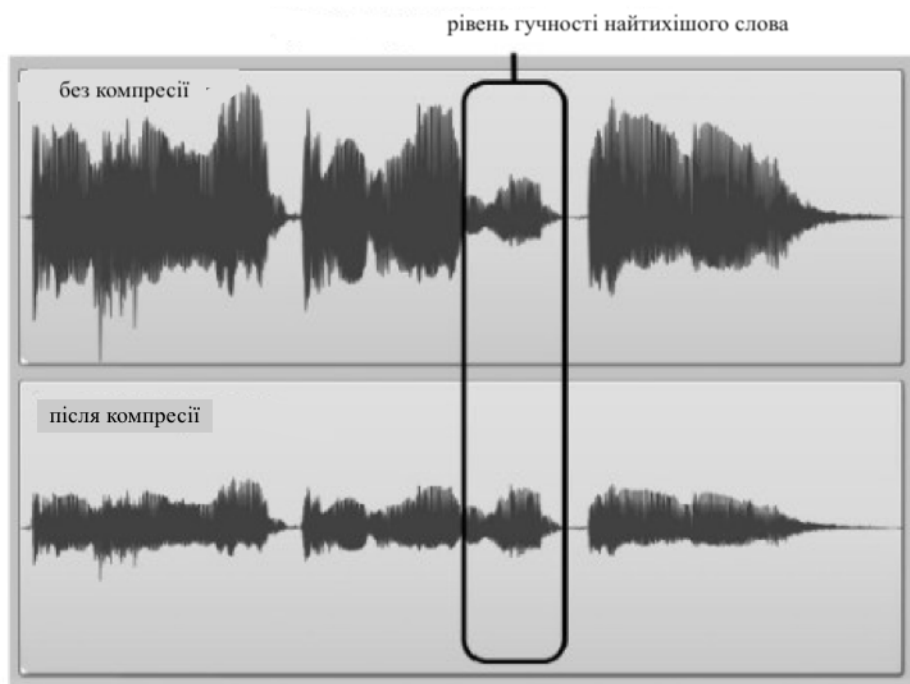


Рисунок 2.8 – Рівень сигналу вокальної доріжки до та після компресії

2.2.1 Найпоширеніші регулятори компресора

- **Поріг спрацьовування (Threshold).** Це класичний дизайн управління і даний контролер є практично на всіх компресорах. Він виставляє пороговий рівень, при перескакуванні якого сигнали будуть стискатися. Чим нижче він опуститься, тим більше таких звуків буде компресовано.
- **Рівень стиснення (Peak reduction).** Іноді даний регулятор іменується ще як «стиснення» і його робота проста: чим більше значення виставлено, тим більше буде стиснення, а значить зменшення кількості піків.
- Іноді буває і такий окремий варіант «два в одному»:
- **Рівень вхідного сигналу (Input gain).** Така конструкція компресора має фіксований поріг спрацьовування, при перевищенні якого почнеться автоматичне стиснення звуку. Хоча він чимось схожий на

попередні варіанти, його відмінною рисою є те, що звук буде збільшуватися в гучності пропорційно зміні рівня вхідного сигналу.

2.2.2 Основи компресії звуку



Рисунок 2.9 – Приклад трьох різних компресорів: з порогом спрацьовування (Waves Renaissance Compressor, праворуч); з рівнем компресії (Universal Audio LA3A, нижній); і з регулятором рівня вхідний гучності (Steinberg's Cubase Vintage Compressor, зліва).

На практиці неможливо стиснути динамічний діапазон інструменту і при цьому не змінити його суб'єктивну гучність. Тому більшість компресорів мають додатковий засіб для регулювання кінцевої гучності. У більшості випадків це звичайний регулятор посилення (має назву «Makeup Gain» або «Output Gain»), але в деяких приладах виробники розробили

спеціальну компенсацію рівня сигналу, що має автоматичний режим роботи.



Рисунок 2.10 – Компресор від Apple Logic's з вбудованою компенсацією гучності

2.2.3 Алгоритм роботи з компресором

Обраний компресор направляється в слот-канал, і якщо у нього є наявності будь-які пресети, можна вибрати один з них в якості відправної точки. Коли пресет завантажений, необхідно виставити поріг спрацьовування (Threshold) так, щоб індикатор показував на піках сигналу стиск не менше ніж на 6 дБ, а потім за допомогою регулятора вихідної гучності «Makeup Gain» грубо компенсувати втрату в гучності, піднявши його на 6 дБ, так, щоб загальна гучність сигналу була однаковою. [11]

Якщо проблеми з балансом ще не вирішені необхідно опустити поріг спрацьовування нижче і ще раз поманіпулювати фейдером. Важливо зосередитися на балансі і всьому, що робить положення фейдера більш статичним. В процесі експериментів з порогом спрацьовування може виявитися, що різні настройки підходять для різних часових сегментів

аудіодоріжки, тоді просто можна зробити кілька дублів цього треку з різними ефектами стиснення.

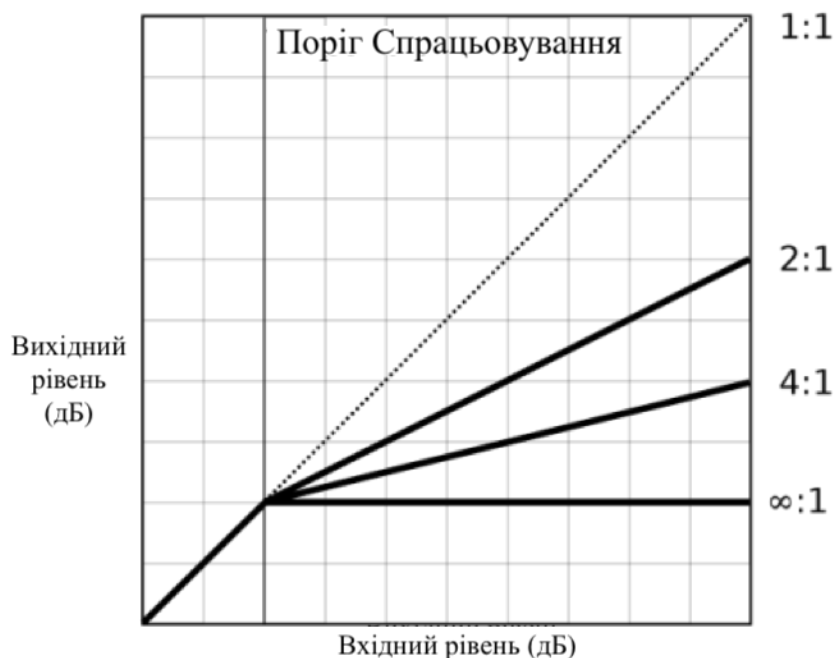


Рисунок 2.11 – Налаштування параметрів компресії.

2.3 Використання лімітера

Компресори, спеціально розроблені з дуже широким коефіцієнтом стиснення, часто так, що, якщо виявиться, що конкретний прилад просто не в змозі обробити сигнал з потрібною глибиною для вирівнювання динаміки звуку, треба спробувати лімітер. При цьому, при роботі з лімітером, буде помітно, що він використовує регулятори вхідного посилення, а в деяких випадках поріг спрацювання може бути виставлений на певний рівень - зазвичай це використовується при мастерингу замість вихідного регулятора гучності.

Лімітер - це такий прилад, який різко може зупинити рівень сигналу, з яким не впорається компресор.



Рисунок 2.12 – Цифрові віртуальні лімітери: GVST's GMax (зліва), Tin Brook Tales Pocket Limiter (праворуч) і Kjaerhus Audio's Classic Master Limiter (знизу)

2.4 Метод послідовної компресії

Послідовне включення компресії використовується у випадку, коли інструмент потребує не тільки контролю різких нот, але і в більш вузькому динамічному діапазоні. Це загальноприйнята практика в комерційній музичній індустрії, оскільки дозволяє призначати кожен конкретний прилад під потрібне завдання.

Друга перевага багатошарової компресії полягає в тому, що можна використовувати кожен окремий компресор без його «перевантаження» занадто глибоким стисненням, тим самим приводячи аудіодоріжку до комерційного рівня.

Є ще одна важлива причина, чому деякі звукоінженери використовують метод послідовної компресії. Вона полягає в тому, що вона дозволяє зводити воедино деякі звукові побічні ефекти від різних компресорів. Це особливо характерно для вокальних партій, коли потрібен не тільки контроль динаміки, але і тоноформування звуку.

2.4.1 Паралельна компресія

Основна перевага паралельної компресії полягає в тому, що нестислий сигнал зберігає в собі оригінальні перехідні процеси і музичну динаміку.

Першою причиною використання паралельної компресії полягає в зменшенні небажаних побічних звукових артефактів, коли швидка атака і час спаду потрібні для балансу фонограми або аудіозапису. Музичні інструменти, багаті перехідними процесами, такі як ударні, перкусія, фортепіано, акустична гітара, часто покращують своє звучання від паралельного методу, тому що таким чином можна використовувати різку компресію для обробки хвоста звуку між окремими ударами без притуплення ударної атаки або від надмірного його стиснення. Насправді, паралельна обробка добре приховує побічні ефекти важкої компресії, яку можна в такому випадку стиснути, як тільки душі завгодно - все можна вирівняти між співвідношенням обробленого і необробленого сигналу.

Але існує одна помилка, про яку потрібно знати при використанні паралельної компресії: при зміні гучності обробленого або необробленого сигналу, змінюється не тільки компресія, а й загальний рівень цього треку в міксі.

Висновки до розділу

У другому розділі детально розглянуто принципи та алгоритми обробки музичної композиції з використанням сучасних аудіоплагінів.. За допомогою правильних налаштувань, при правильному виборі ланцюга послідовності ефектів, та контролю за допомогою аналізаторів рівня та спектру можна сформувати оптимальну послідовність, що дозволить швидко та якісно проводити обробку та мастеринг композиції.

Виявлено, що частотний та динамічний баланс – це фундаментальні аспекти обробки аудіосигналу, яким треба приділити найбільше уваги.

Наступний етап – окремий розгляд кожної доріжки з послідуочим видаленням зайвих областей сигналу. Цей процес виконується вручну, видаляються гучні зайві області та шуми. Зайвий сигнал з низьким рівнем буде видалений на наступних етапах інструментом Gate.

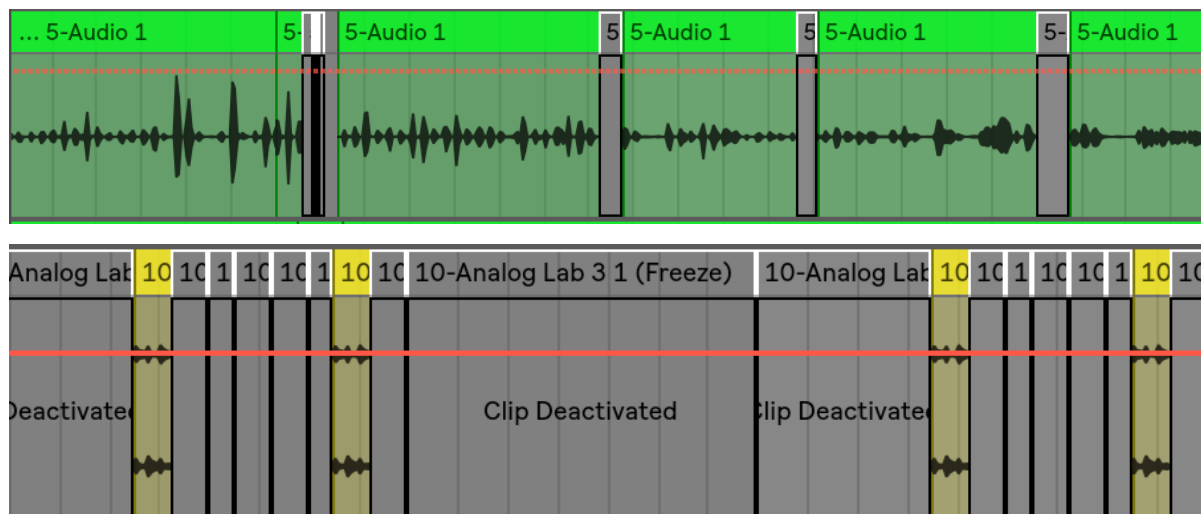


Рисунок 3.2 – Ручне видалення зайвих областей з доріжок

Для очищення небажаних частот спектру скористаємось фільтром низьких частот для всіх доріжок окрім басу та барабанів, так як в них область низьких частот містить необхідну інформацію, згідно розділу[2.1.5]. Для фільтрації низьких частот обрано еквалайзер Pro Q-2 фірми FabFilter, так як в цьому плагіні зручний інтерфейс, наявний інформативний аналізатор спектру(рис.3.3), що дає можливість відслідковувати кількість відфільтрованої інформації в реальному часі.



Рисунок 3.3 – Аналізатор спектру еквайзера FabFilter Pro-Q2



Рисунок 3.4 – Меню вибору типу фільтра



Рисунок 3.5 – Фільтр в роботі

3.2 Обробка доріжки вокалу

Вокальна доріжка є найскладнішою доріжкою для обробки, адже вокал – це найрізноманітніший інструмент з великою варіативністю тембрів та особливостей. Після базового опрацювання був розроблений послідовний ланцюг ефектів обробки.

3.2.1 Обробка за допомогою інструменту Pitch Shifter

Першим етапом обробки цим плагіном є сканування доріжки(рис. 3.6)

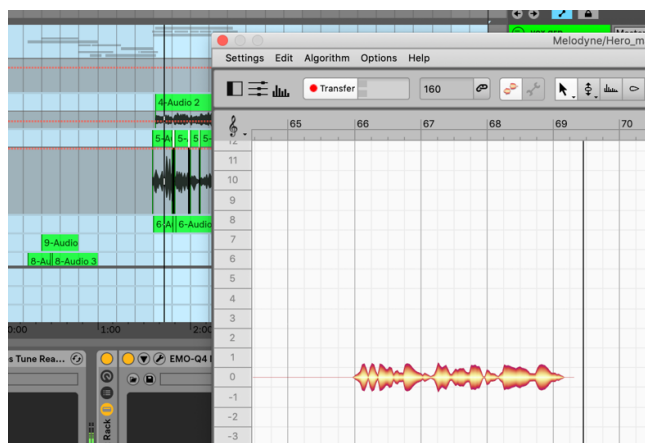


Рисунок 3.6 – Процес сканування плагіном Celemony Melodyne

Наступним етапом є корекція висоти нот необхідних областей за допомогою інструментів «Pitch Tool» та «Formant tool»(рис. 3.7). Для розділення або видалення зайвих частин сигналу використовується функція «Note Separation Tool».

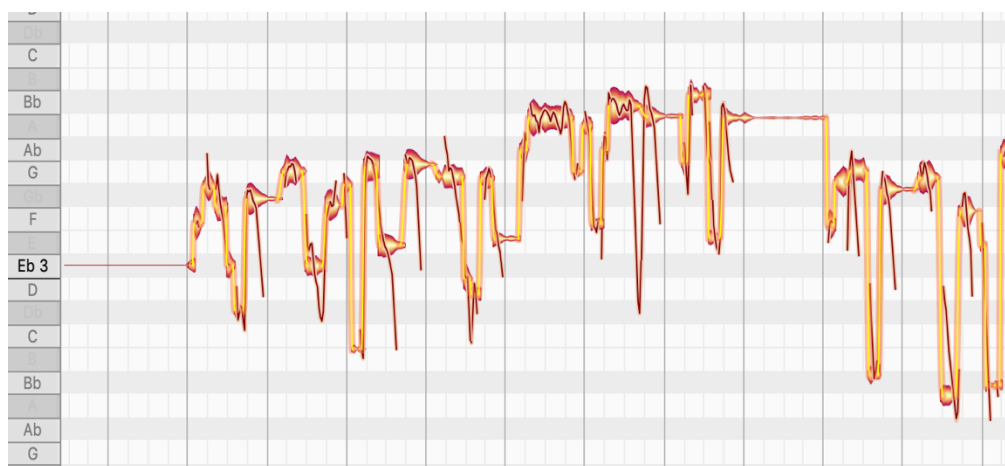


Рисунок 3.7 – Детальна корекція висоти нот проблемних областей

Додатково для художньої обробки вокалу було обрано онлайн Pitch Shifter – Waves Tune Real-Time, що має в основі такий самий алгоритм, але працює автоматично в реальному часі. В даному плагіні є два фундаментальні параметри – Швидкість спрацювання, та швидкість зміни нот, чим менше це значення, тим більша кількість корекції буде застосована(рис. 3.8).



Рисунок 3.8 – Налаштування онлайн пітч-шифтера Waves Tune Real-Time

3.2.2 Компресія вокалу

Після базової еквалізації що була проведена для цієї доріжки використовується декілька компресорів. Першим до ланцюгу обрано багатосмуговий компресор Waves C6 (рис 3.9).

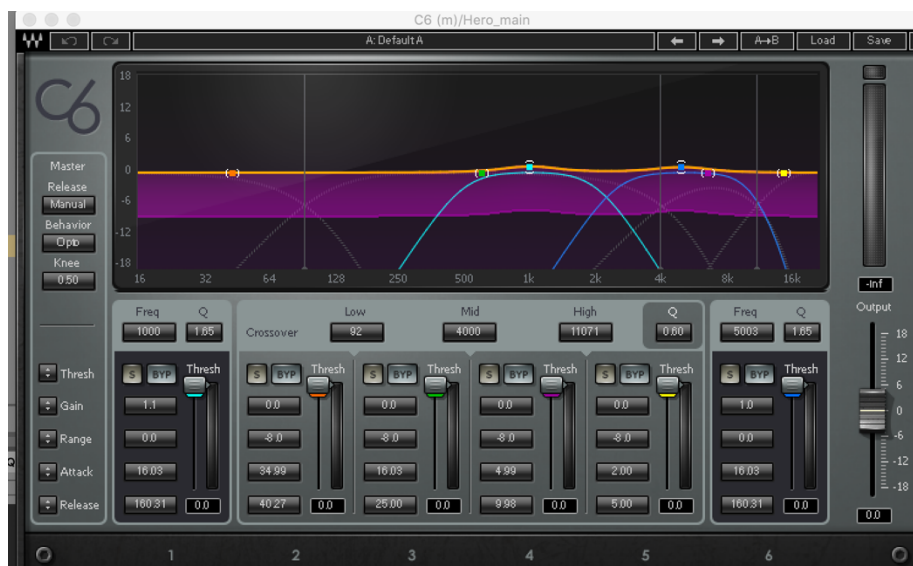


Рисунок 3.9 – Інтерфейс багатосмугового компресора Waves C6

Внаслідок прослуховування проблемний областей на доріжці були скомпресовані 2 області – в районі 200 Гц та 2500 Гц(рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Налаштований компресор Waves C6 в роботі

Другий компресор, що був застосований – односмуговий сайд-чейн компресор C1 comp-sc. Параметри, що були використані для компресії, вказані на рис. 3.11

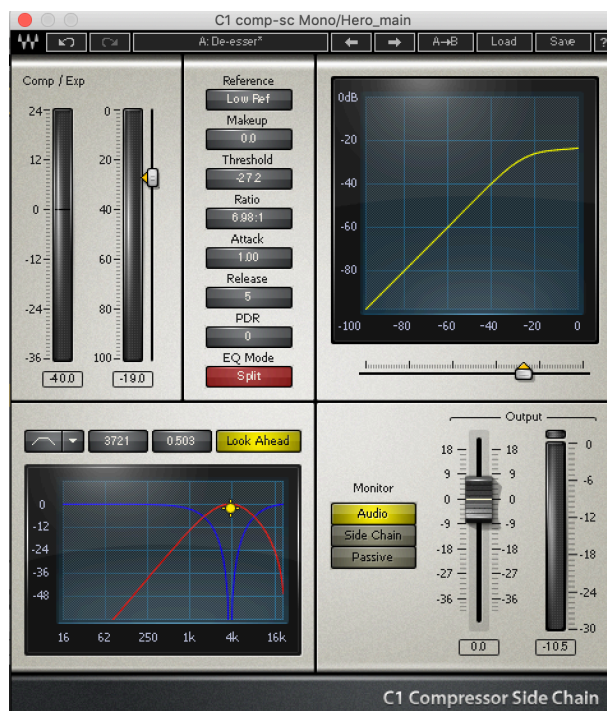


Рисунок 3.11 – Налаштування сайд-чейн компресора Waves C1 Side-Chain

Наступним компресором для лангюга було обрано деесер Waves DeEsser. Даний компресор пом'якшує область шиплячих звуків «с», «ц», «ч», «ш», «щ». Методом прослуховування було визначено, що область шиплячих знаходиться в районі 5900Гц. Робота плагіну показана на рис. 3.12.



Рисунок 3.12 – Налаштування компресора типу «деесер» Waves DeEsser

3.2.3 Динамічна обробка та ефекти вокальних доріжок

Наступним етапом обробки доріжки є корекція скомпресованої доріжки класичним еквалайзером API-550B. Цим еквалайзером проведено посилення частотного спектру 10кГц на +2дБ, а також включений тумблер «Analog», що імітує аналоговий білий шум при відтворенні сигналу(рис.3.13)



Рисунок 3.13 – Налаштування еквалайзера API-550B

Після того як доріжка звучить збалансовано, можна додати реверберацію та ефект затримки. Для цього спочатку треба додати необхідні плагіни у відповідні доріжки(рис. 3.14):

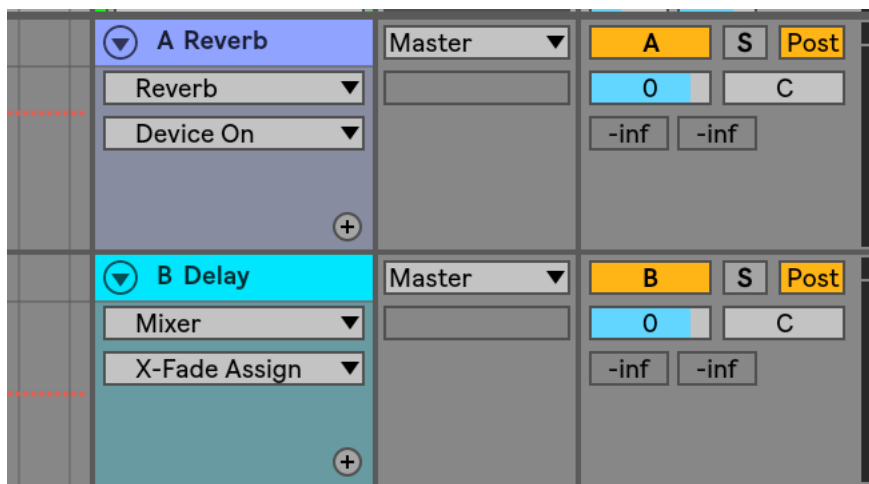


Рисунок 3.14 – Спеціальні доріжки ефектів A Reverb та B Delay

Після цього можна подавати сигнал з цих доріжок з необхідним рівнем на будь яку доріжку в міксі(рис.3.15)

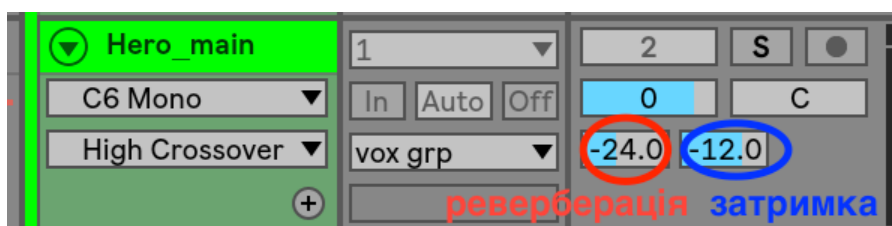


Рисунок 3.15 – Налаштування рівня сигналу з ефектом на індивідуальній вокальній доріжці

Так як дані ефекти впливають на рівень сигналу, підняти його до необхідного рівня можна за допомогою плагіна, що є останнім в цьому ланцюгу. Цей плагін – Renaissance Vox – професійний динамічний процесор для роботи з вокалом(рис. 3.16).

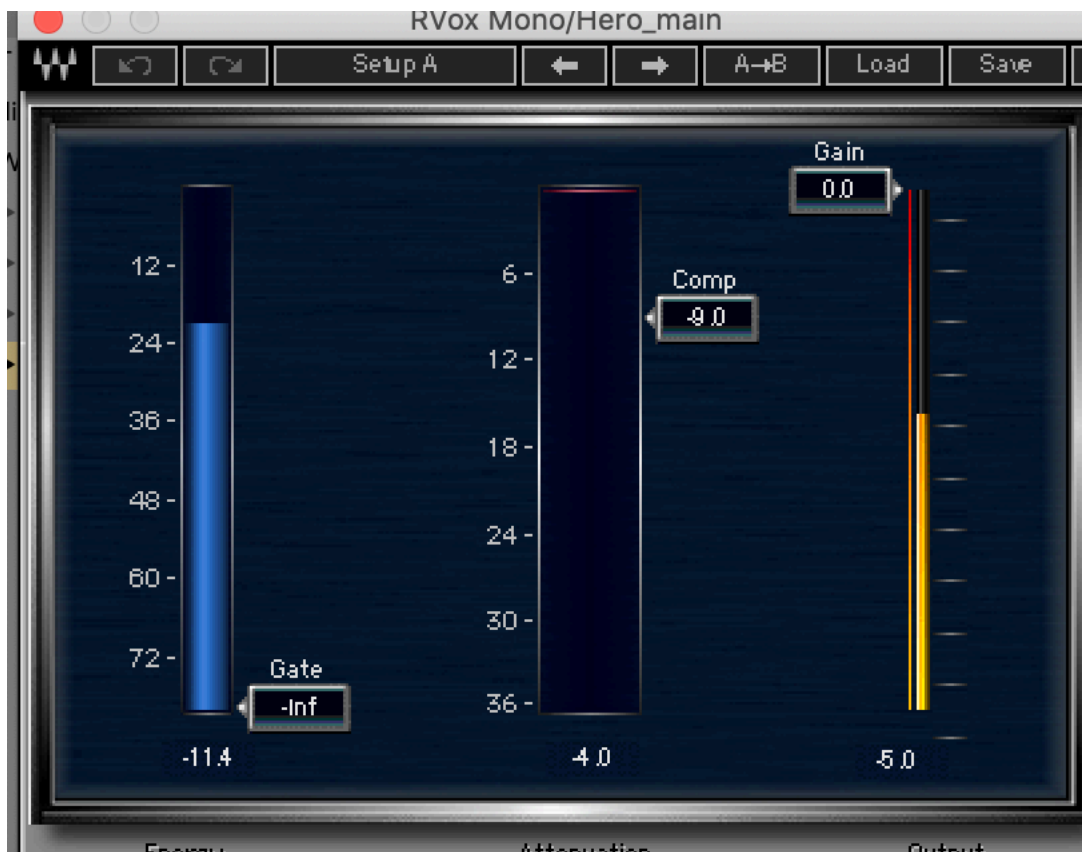


Рисунок 3.16 – Налаштування цифрового динамічного процесора Waves RVox

3.3 Обробка басу та бас-бочки

Спектр низькочастотного рівня охоплює приблизно 250 Гц - це невелика область в порівнянні з нижньою серединою або вище, де діапазон вимірюється в тисячі герц. Конфліктуючі низькі частоти бруднять звук і витрачають цінний запас динамічного діапазону. Щоб створити правильний баланс, треба визначити пріоритетний низькочастотний інструмент. В даному випадку – це бас-бочка.

Для того, щоб була добре чутна бас-бочка, низькочастотний спектр баса повинен послабитись. Це робиться за допомогою, керованої (сайдчейн) компресії або еквалізації. Якщо ж АЧХ баса переважає в середньому і високому діапазоні, то можна обійтися однією еквалізацією

для усунення конфліктуючих частот. Нижче, на рис. 3.17, застосований керований компресор для послаблення тільки низькочастотного спектра.

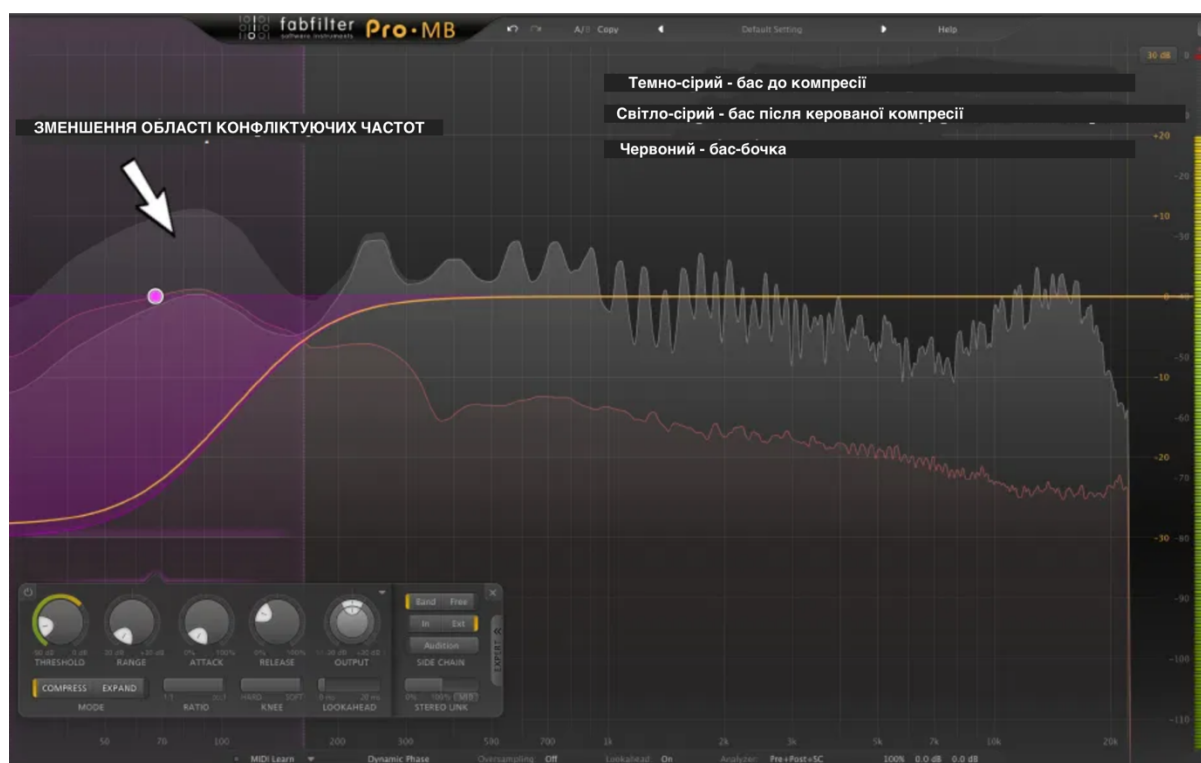


Рисунок 3.17 – Налаштування компресора FabFilter Pro MB для низькочастотних інструментів

Наступний крок – створення групового сигналу басу та бочки(рис. 3.18)

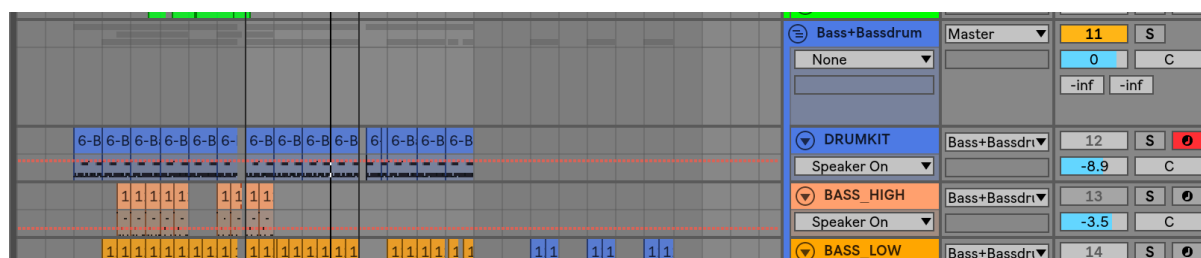


Рисунок 3.18 – Об'єднання низькочастотних інструментів в групу

На створену групу необхідно додати плагін індикатора VU із середнім показником RMS, який був описаний у роботі [3](рис. 3.19)



Рисунок 3.19 - Інтерфейс індикатора VU SHI

Задача полягала в тому, щоб вирівняти рівень бочки по індикатору до -3 дБ. Після цього, додати рівень басу до запису і підіймати його до тих пір, поки індикатор VU не покаже 0 дБ(рис. 3.20). Інтенсивність звуку подвоюється з кожним інкрементним збільшенням на 3 дБ. Таким чином, бас відповідає середньому рівню гучності бочки.



Рисунок 3.20 – Контроль рівня гучності за допомогою індикатора VU SHI

Розміщення басових частот рівно по панорамі дасть потужні низькі частоти. Бочка і бас несуть в собі багато енергії. Якщо вони будуть навіть злегка розведені по панорамі в сторони - це різко послаблює потужність нижнього спектра і призводить до поганої моносумісності. Трек буде

неправильно звучати на апаратурі, де проявляється квазі-моно або повністю моносередовище акустичного відтворення.

Для правильного панорамування басу був використаний плагін LEVELS. Кнопка «Low Pass», перемикає програму в режим панорамування нижче 300 Гц. При цьому, червоний колір індексує те, що нижній спектр має занадто широку панораму або зміщення в будь-яку сторону(рис. 3.21).

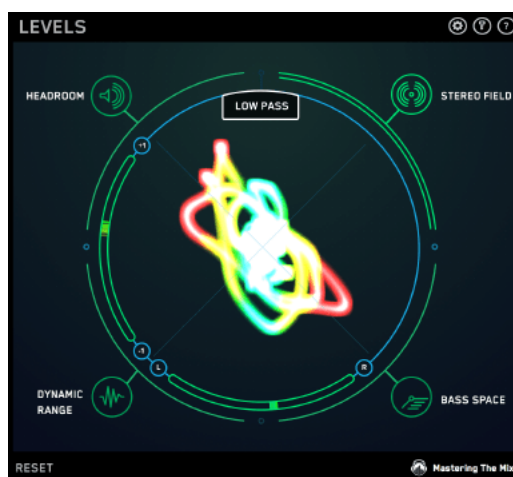


Рисунок 3.21 – Низькочастотне панорамування в плагіні LEVELS

Наступним кроком було додавання ефекту реверберації для бас-бочки і басу. Щоб не втратити ясність звучання на низьких частотах, використана «паралельна обробка». Саме в ній укладено відмінний спосіб, завдяки якому можна виділити басовий спектр і при цьому не забруднити мікс.

Після створення окремої шини, на неї додано плагін-ревербератор з 100% обробкою вхідного сигналу. Після чого, в ланцюзі посилювача-каналу розміщено еквайзер після ревербератора, використовуючи фільтр для видалення низкочастотного діапазону в районі 250 Гц.(рис.3.22)

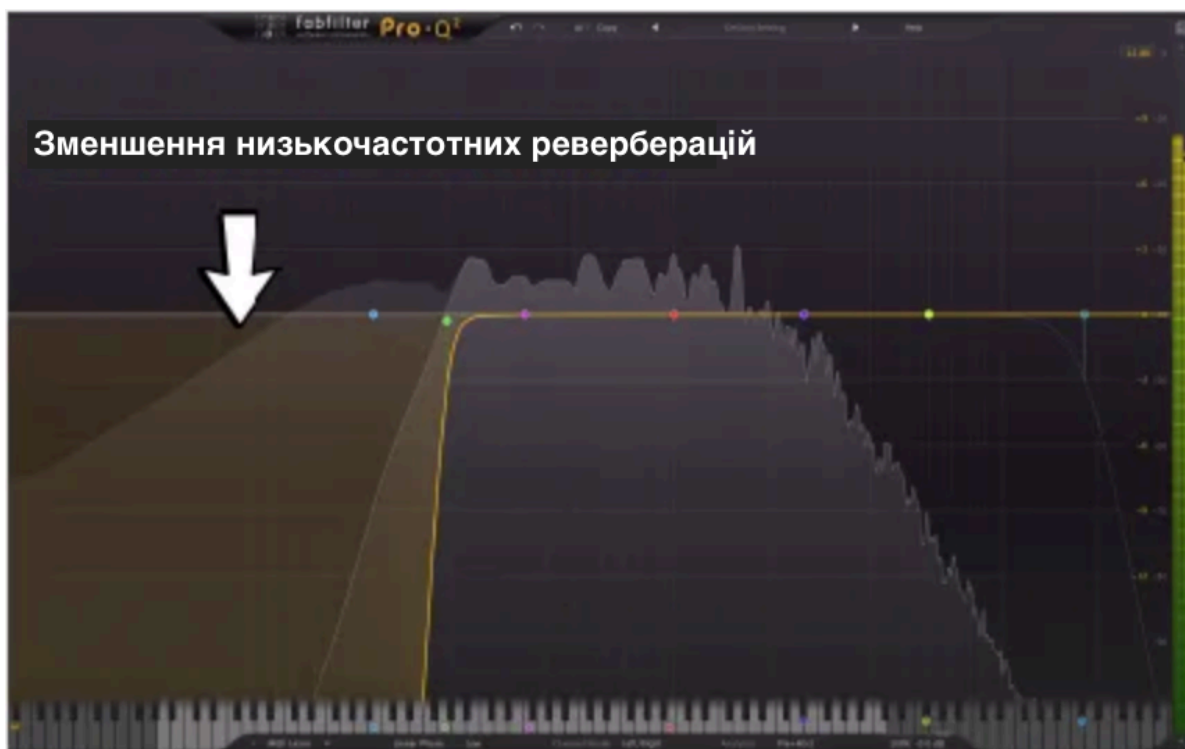


Рисунок 3.22 – Еквалізація низькочастотних реверберацій

Потім гучність реверберації підсилена регулятором рівня. Реверберація на бас-партіях повинна бути короткою, щоб мінімізувати ефект маскування, який вона проявляє, якщо присутня у величезних кількостях, що вказано на спектрограмі рисунку. Якщо не еквалізувати реверберацію, виникає проблема, яку демонструє рис. 3.23

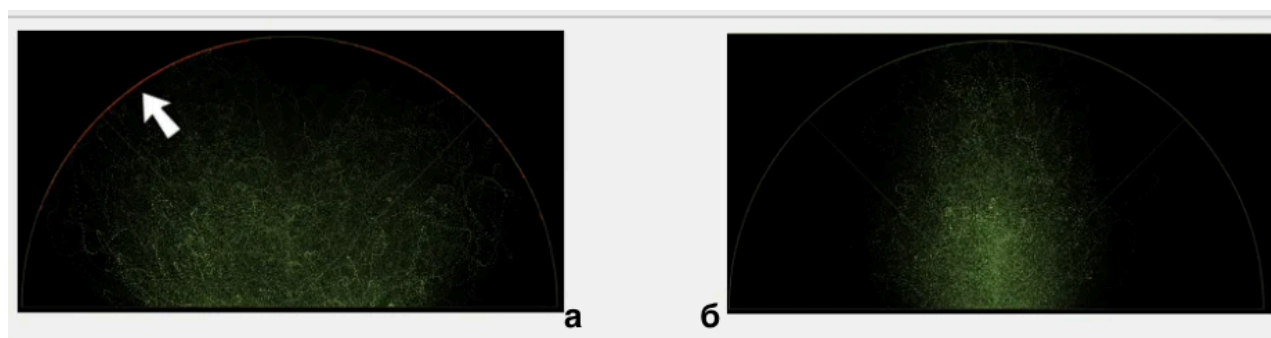


Рисунок 3.23 – Фазові артефакти (а). Після еквалізації на 250-500 гц, дефекти усунені (б).

Останнім етапом обробки низькочастотних інструментів є сатурація.

Низькочастотна сатурація - це найкращий спосіб, щоб виділити бас (або бочку) не тільки в фонограмі, але і взагалі при відтворенні. Вона насичує спектр гармонікою на октаву вище, що робить бас більш виразним, особливо при прослуховуванні на апаратурі, що не відтворює частоти 60Гц або нижче. Після встановлення на доріжку з басом низькочастотного сатуратора (Waves MaxxBass)(рис.3.24) доцільніше використати побутові гучномовці для моніторингу. Насичення проводиться таким чином, щоб його було добре чути через динаміки. Потім необхідно переключитись до професійних моніторів і заново відтворити сигнал для перевірки коректного відтворення низькочастотного спектру, адже сатурація зменшує суб'єктивну гучність фундаментальної частоти.



Рисунок 3.24 – Сатуратор MaxxBass в роботі.

3.4 Створення власного аудіоплагіна в середовищі Max for Live.

Це продукт-розширення, розроблений при співпраці компаній Ableton і Cycling '74. Він дозволяє користувачам розширювати і змінювати Live за допомогою створення інструментів, аудіо-ефектів і MIDI пристроїв.

На основі цього програмного забезпечення було розроблено плагін з ефектом «Затримка Хааса». Фактично це ефект короткої затримки (від 1 до

25 мс) між лівим та правим аудіоканалом, що дозволяє розширити стереополе сигналу. Ефект Хааса працює найкраще для високочастотного сигналу, тому в даній роботі він буде приміненений до аудіодоріжки з сигналом, записаним з тарілки барабану хай-хет.

Щоб створити новий ефект, необхідно відкрити вкладку Max for Live в браузері середовища Ableton Live та перетягнути Max Audio Effect до ланцюга доріжки(рис.3.25).

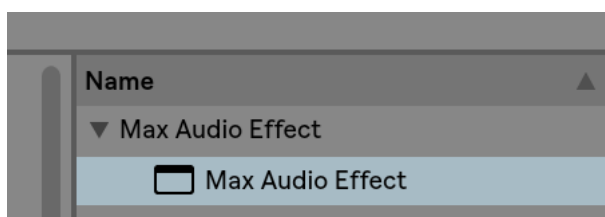


Рисунок 3.25 – Пустий шаблон аудіоефекту Max Audio Effect у браузері

Наступним кроком було відкриття робочого поля для програмування.(рис.3.26)

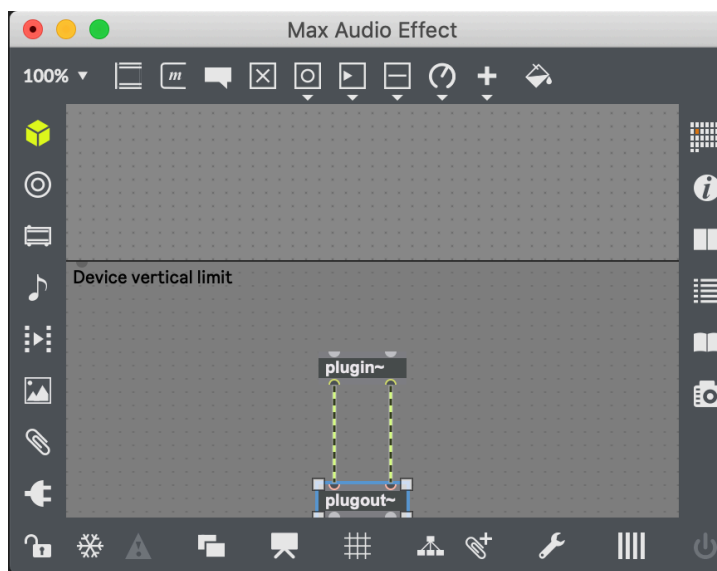


Рисунок 3.26 – Робоче поле середовища Max for Live

Початковим етапом розробки даного аудіоплагіну буде створення окремого ефекту затримки для правого та лівого каналу. Почати можна з

підключення входу і виходу до лінії затримки. Такий оператор називається «tapin~» який працює за принципом отримання сигналу та відправлення його на лінію затримки. Після цього за допомогою оператора «tapout~», затриманий сигнал виводиться(рис. 3.27).



Рисунок 3.27 – Оператори «tapin~» і «tapout~»

Після підключення даних операторів спостерігається необхідний ефект затримки(рис. 3.28)

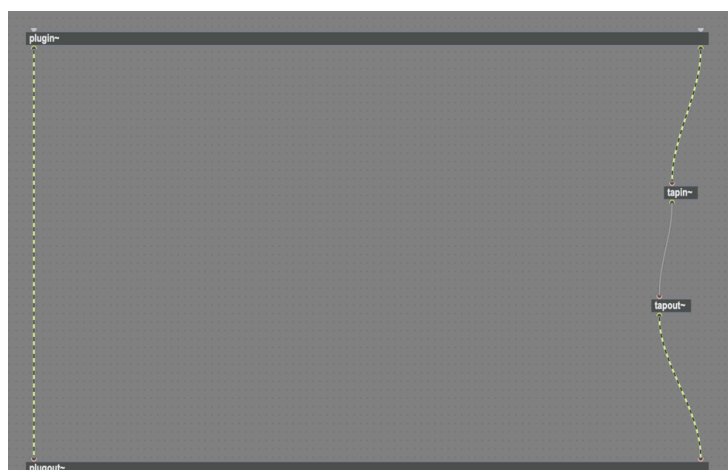


Рисунок 3.28 – Схема ефекту затримки правого каналу

Тепер необхідно налаштувати можливість регулювання кількість затримки та повторити процедуру для лівого каналу.

Для регулювання швидкості затримки можна використати параметр number(рис. 3.29)

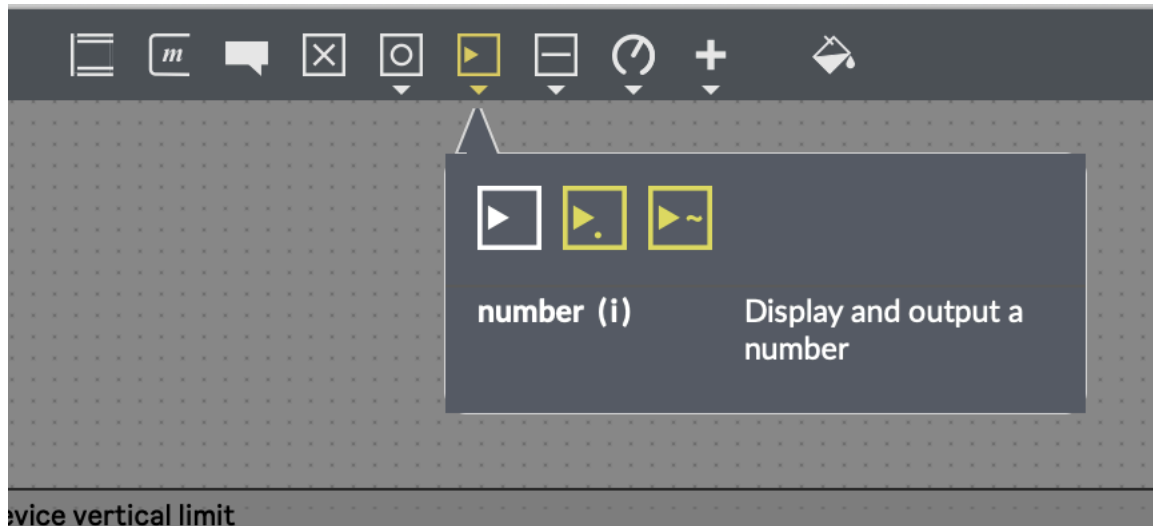


Рисунок 3.29 – Параметр number

В налаштуваннях цього параметра необхідно вказати мінімальне значення «0» та максимальне «25» що буде дорівнювати кількості мілісекунд затримки(рис. 3.30)

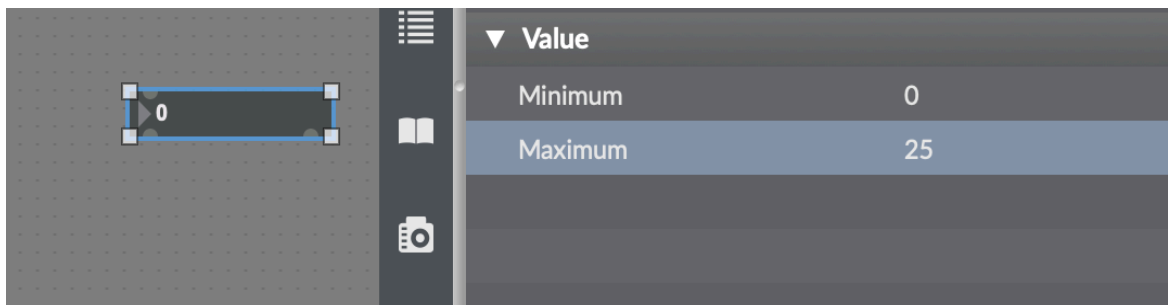


Рисунок 3.30 – Налаштування параметру number

Після цього необхідно підключити цей параметр до оператора «tapout~» та скопіювати ефект затримки для лівого каналу та підключити його аналогічно до правого.(рис 3.31)

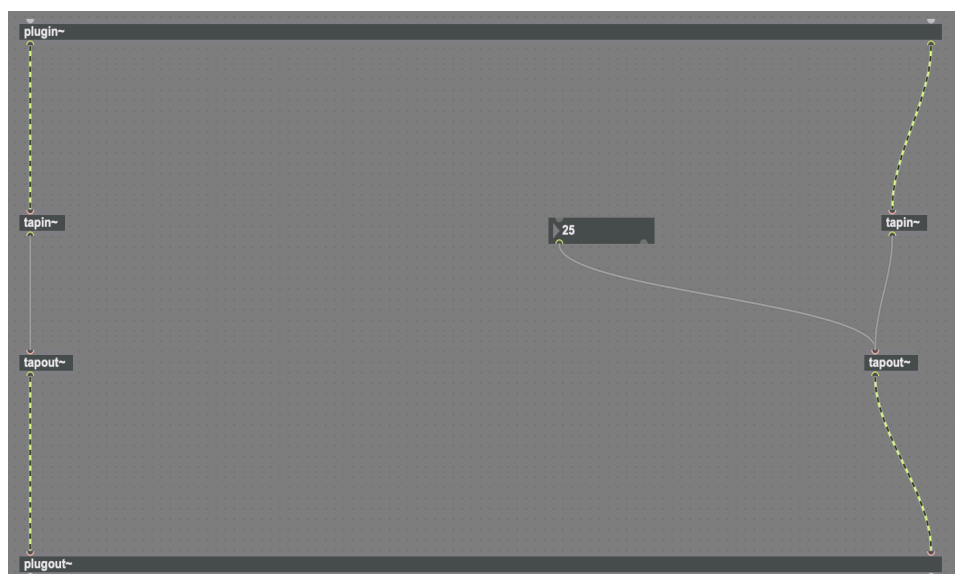


Рисунок 3.31 – Проміжний результат комутації

Наступним кроком буде забезпечення переключення між лівим та правим каналами. Цей процес буде реалізований в декілька етапів

Першим етапом буде створення оператору «selector~». Цей оператор реалізує переключення сигналу між каналами. Їх необхідно додати два – по одному на кожний канал, а також вказати аргумент 2 – він означає кількість входів (рис. 3.32).

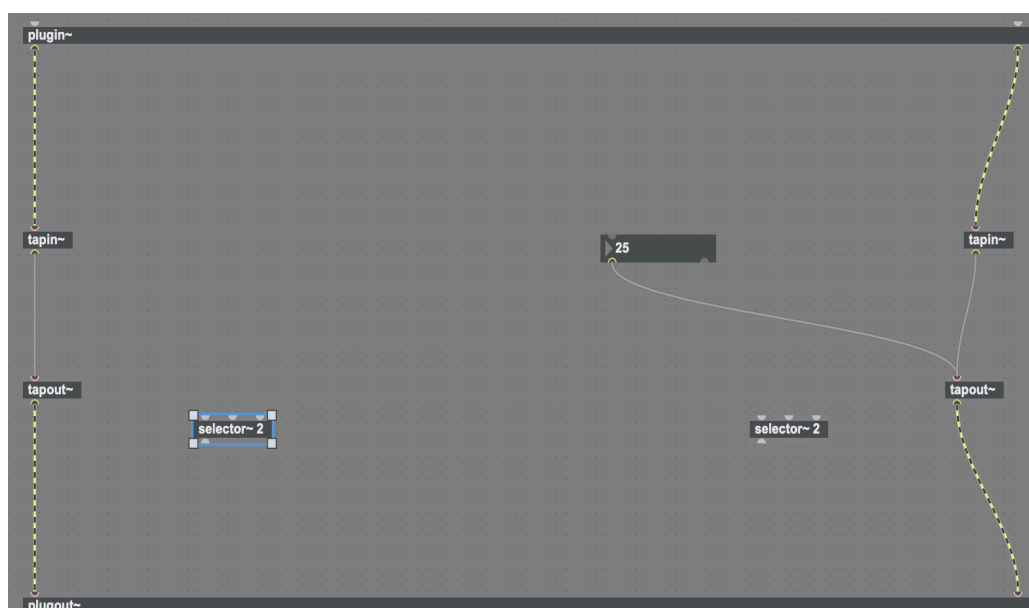


Рисунок 3.32 – Введення оператору «selector~».

Далі необхідно забезпечити зручний контроль переключення каналів в реальному часі. Для цього було обрано об'єкт «live.tab» Результат після налаштування параметрів(рис. 3.33):

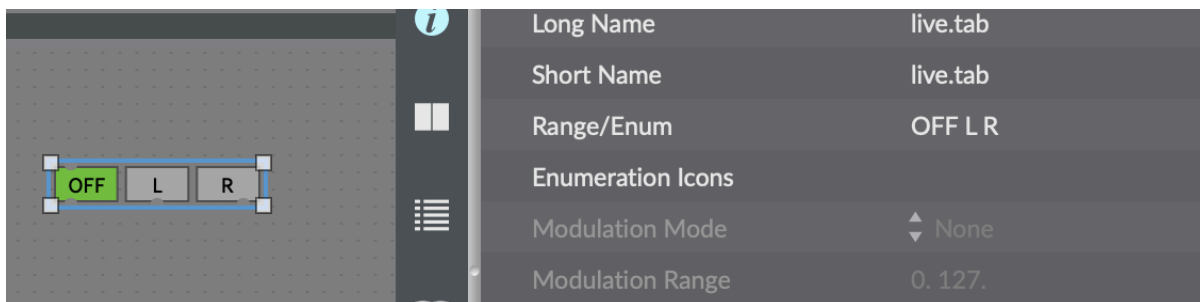


Рисунок 3.33 –Об'єкт «live.tab» після налаштування

Для контролю значень при переключенні режимів доцільно використати параметр «message», який необхідно додати до об'єкту «live.tab», як показано на рисунку 3.34.

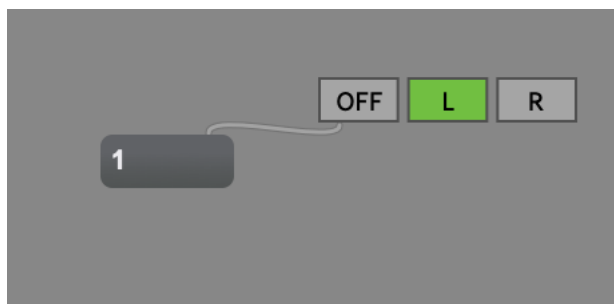


Рисунок 3.34 – Використання параметру message для індикації сигналу

Тепер видно, що режиму «OFF» відповідає значення 0, режиму «L» - значення 1, а режиму «R» - значення 2. Знаючи це, можна підключити об'єкт «live.tab» до операторів «selector~» як показано на рисунку 3.35.

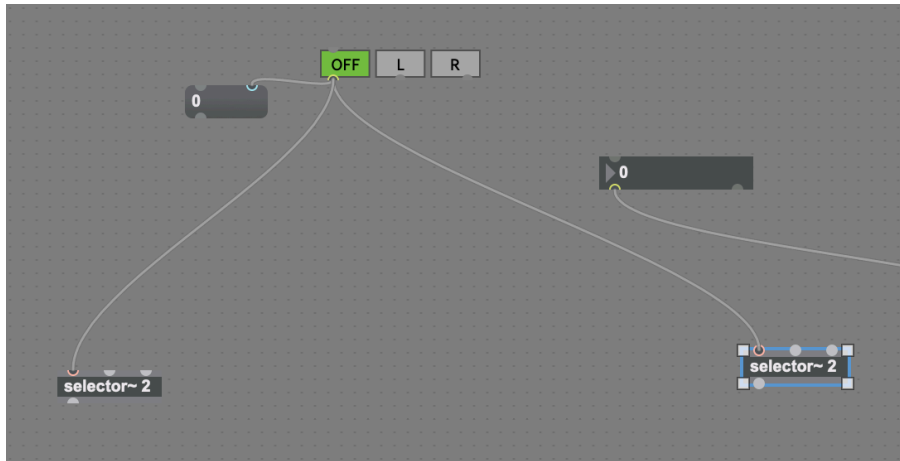


Рисунок 3.35 – Проміжний результат комутації

Дане підключення означає, що коли об'єкт «live.tab» буде в положенні L – сигнал буде подаватись на вхід 1 обох операторів «selector~», відповідно, в положенні R – на вхід 2 цих операторів. Отже, для того щоб положення L відкривало подачу сигналу на лівий канал, необхідно з'єднати лівого вихід об'єкту «tapout~» та вхід 1 оператора «selector~», що знаходиться зліва. Відповідно з правим каналом необхідно зробити підключення до входу 2 правого оператора(рис. 3.36).

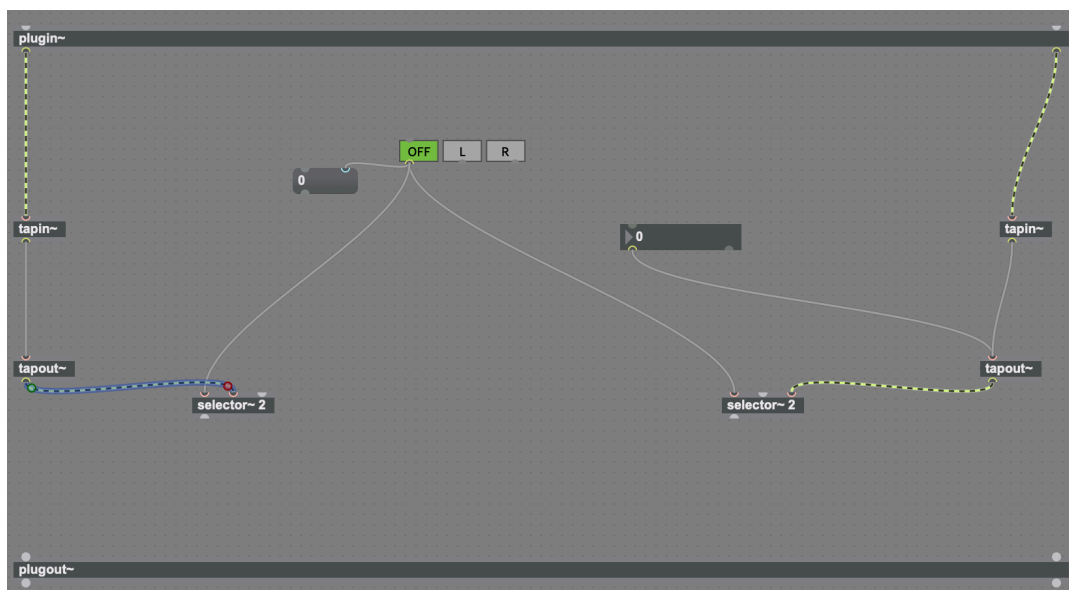


Рисунок 3.36 – Проміжний результат комутації

Тепер необхідно забезпечити відтворення необробленого сигналу на протилежному каналі під час роботи в режимах «L» або «R». Для цього сигнал на вході «plugin~» до вільного каналу кожного з операторів оператора «selector~», вихід яких в свою чергу треба підключити до виходів «plugout~» відповідно(рис. 3.37)

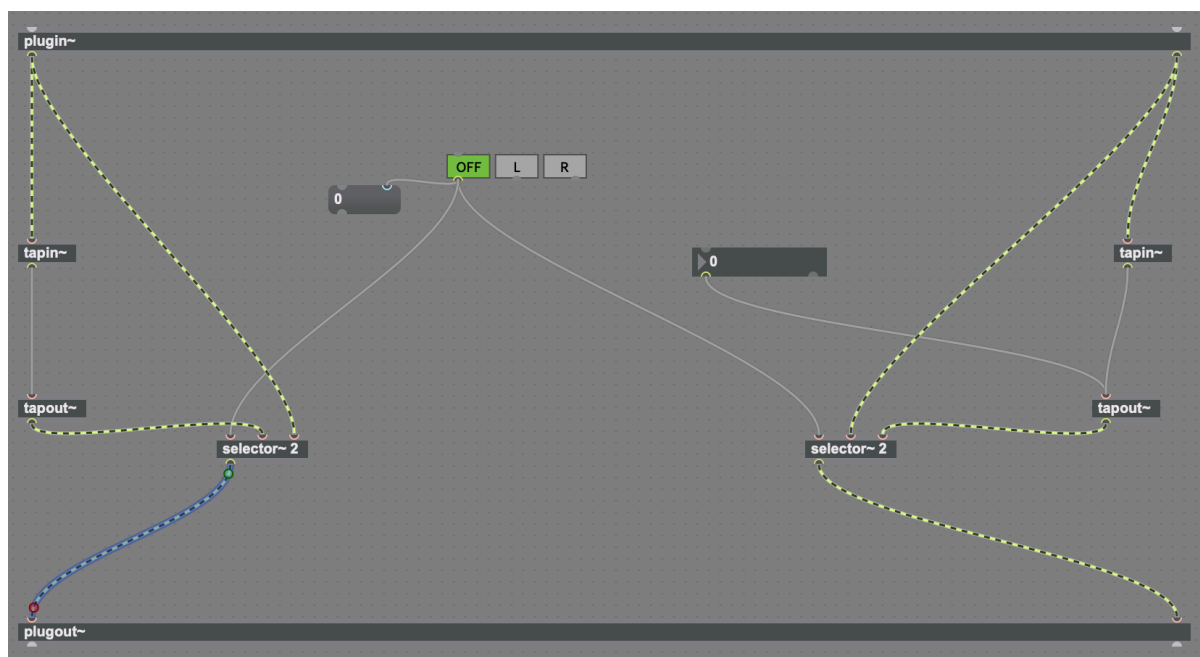


Рисунок 3.37 – Схема ефекту затримки Хааса без режиму bypass.

Після підключення параметру «number» до лівого об'єкта tapout, залишається одна принципова проблема, яку необхідно вирішити. Вона полягає в тому, щоб забезпечити відтворення чистого сигналу в режимі «OFF». Для цього необхідно додати параметр «gate~»(рис. 3.38), який виконує функцію пропускання сухого сигналу.

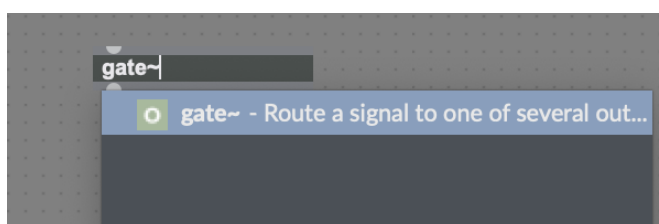


Рисунок 3.38 – Параметр «gate~»

Але проблема полягає у тому, що цей параметр спрацьовує лише тоді, коли на нього подається сигнал зі значенням 1. Цю проблему допоможе вирішити оператор «==». Його функція – порівнювати значення із вказаним заданим значенням, і в разі співпадання, цей оператор набуває значення 1, що і потрібно для спрацювання параметру «gate~». Отже, після додавання на робочу область оператора «==», необхідно додати аргумент «0» та підключити до цього оператора, а сам оператор «==» підключити до виходу об'єкту «live.tab» та входу параметру «gate~»(рис 3.39)

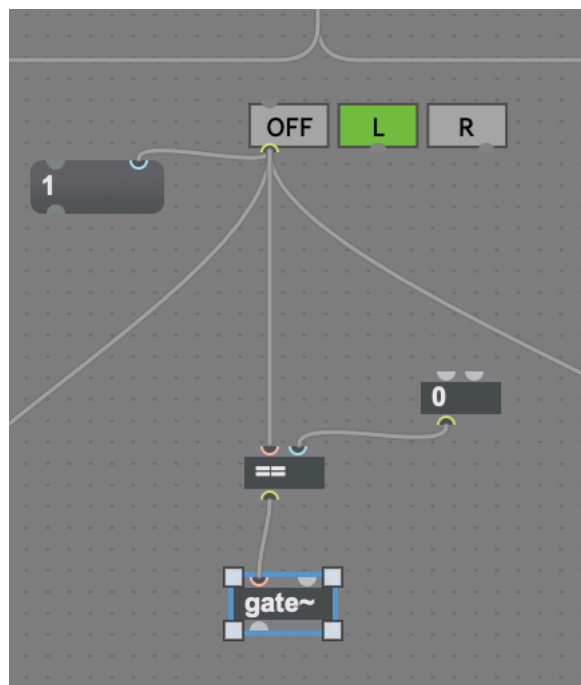


Рисунок 3.39 – Комутація параметру «gate~», оператора «==» і об'єкту «live.tab»

Отже тепер, при переході в режим «OFF» на параметр «gate~» подається сигнал зі значенням 1, що дасть змогу йому працювати. При інших режимах цей параметр не буде працювати, так як значення «L» і «R» не дорівнюють нулю.

Наступним етапом було копіювання параметру «gate~» для другого каналу, та їх підключення до входів та виходів чистого сигналу «plugin~»/«plugout~»(рис. 3.40)

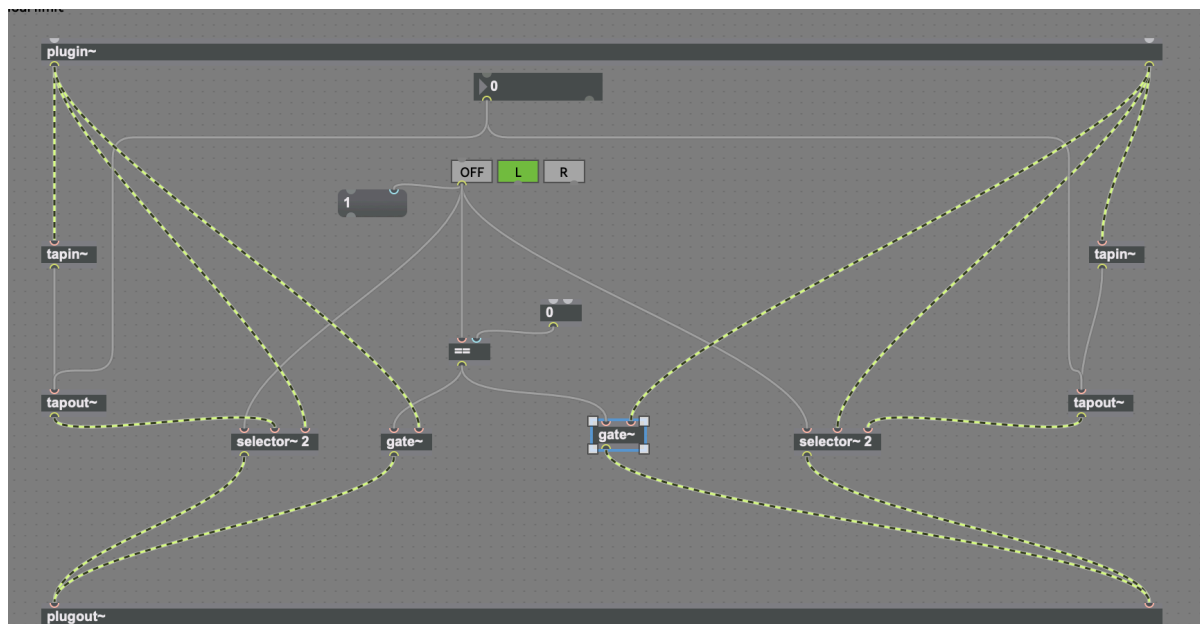


Рисунок 3.40 – Готова схема ефекту затримки Хааса з режимом bypass

Завершуючим етапом створення плагіну було виведення необхідних параметрів в область інтерфейсу. В даному випадку це об'єкт «live.tab» та параметр «number». Щоб вивести їх з робочої області в поле інтерфейсу, треба натиснути правою кнопкою миші на потрібний об'єкт та обрати «Add to Presentation». Після цього дані об'єкти опиняться у вкладці «Presentation Mode», де їх можна буде розташувати необхідним чином(рис. 3.41)

3.5 Мастеринг композиції

Для мастерингу композиції було використано мультифункціональне програмне забезпечення Izotope Ozone 8(рис. 3.43). Це ПЗ включає в себе всі необхідні інструменти в одному, а також має режим асистента, що за допомогою штучного інтелекта на основі алгоритму LUFS дозволяє автоматично провести мастеринг треку для публікації на компакт дисках або стрімінгових сервісах.

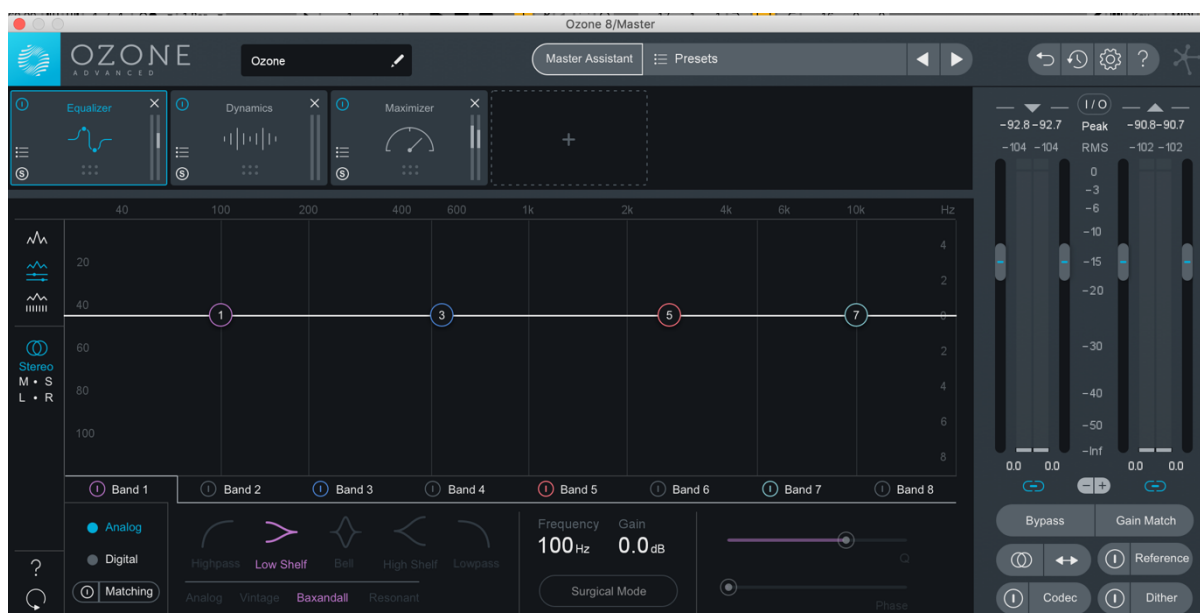


Рисунок 3.43 – Інтерфейс ПЗ Izotope Ozone 8

Після відкриття цього плагіна, необхідно натиснути на кнопку «Master Assistant» у верхній панелі та включити найдинамічнішу частину композиції. Після цього плагін починає аналіз сигналу та автоматичне підлаштування під нього(рис. 3.44)

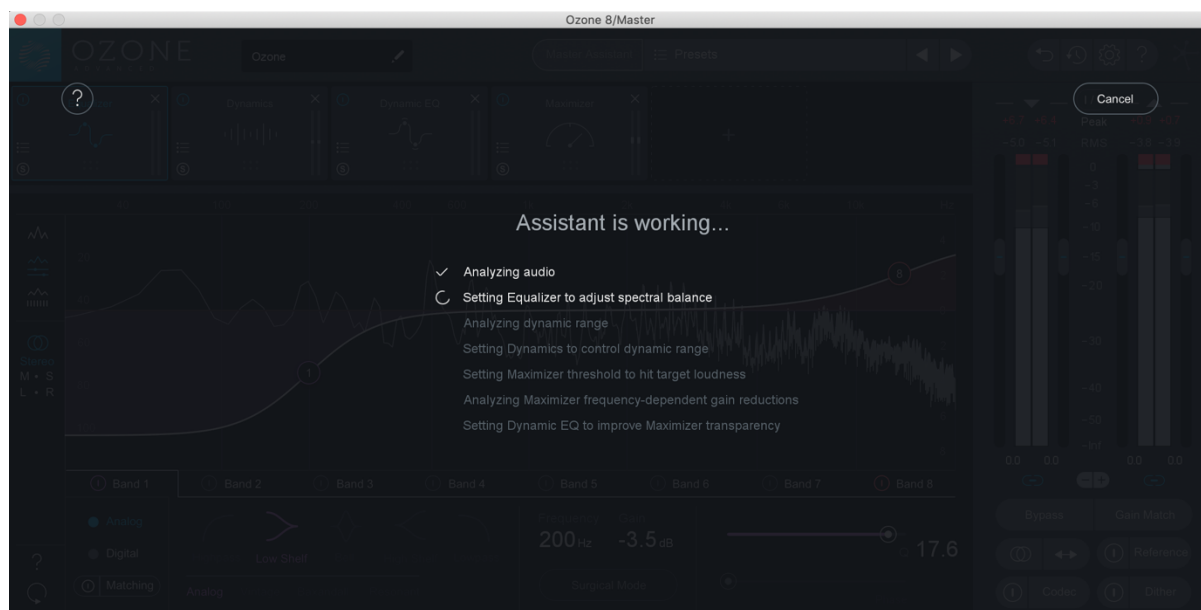


Рисунок 3.44 - Аналіз за допомогою інструмента Mastering Assistant

Отриманий результат не є ідеальним, але він є чудовою відправною точкою для легкого подальшого підлаштування. Результати до та після на рис 3.45 та 3.46 відповідно:



Рис 3.45 – Параметри мастерингу при автоматичній обробці



Рисунок 3.46 – Налаштування мастерингу вручну

Як видно зі скріншотів, налаштовані вручну параметри не сильно відрізняються від створених плагіном, що підтверджує ефективність автоматичного методу.

3.5.1 Експорт готової композиції

Після того як виконаний мастеринг, можна експортувати мастер-трек до пам'яті комп'ютера у формати .wav або .mp3. Для цього треба переконатись, що всі доріжки активні та на них подається сигнал. Після цього необхідно виділити потрібну область для експорту за допомогою інструменту «Loor». Не слід забувати, що так як в композиції присутня реверберація та ефект затримки, експортувати композицію необхідно з одним пустим тактом, щоб ці ефекти мали змогу плавно загасити сигнал(рис 3.47).

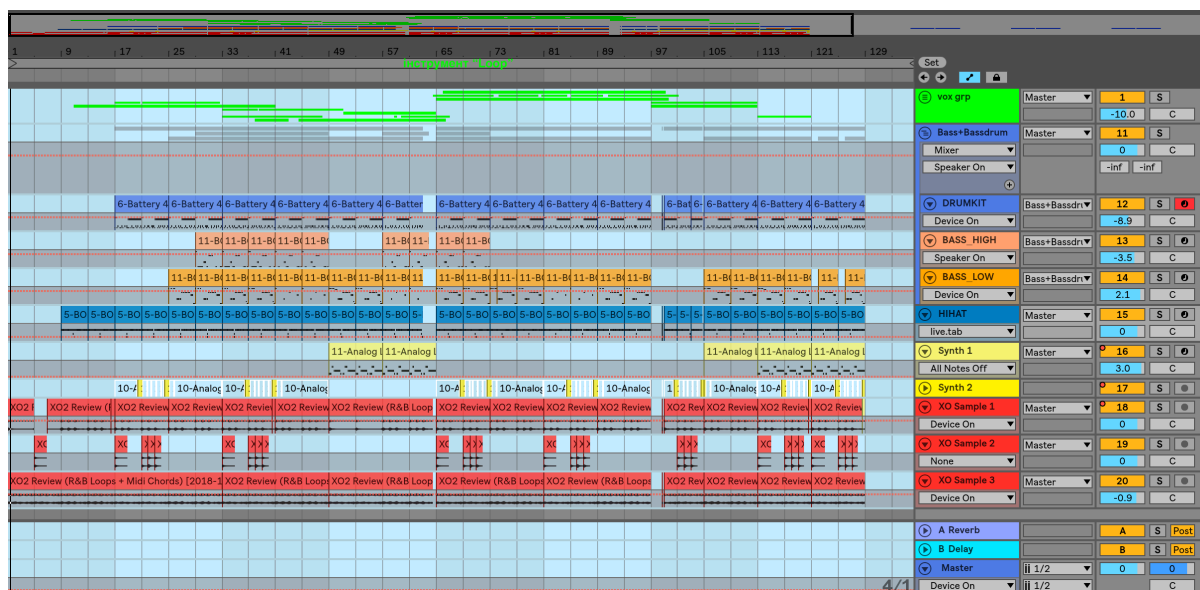


Рисунок 3.47 – Виділення області для експорту

Після виділення необхідної області необхідно вибрати опцію «Export Audio/Video» у вкладці «File». У вікні експорту треба вибрати «Encode PCM» для експорту у форматі .wav та «Encode MP3(CBR 320)» для експорту в .mp3 та натиснути кнопку «Export». В даному випадку був проведений експорт файлу в обидвох форматах(рис. 3.48).

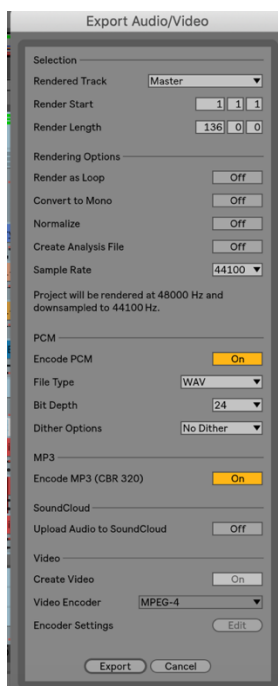


Рисунок 3.48 – Вікно експорту Ableton Live

Після цього файлу було дано назву та збережено в попередньо вказану директорію. Після натискання кнопки «Save» відбувається енкодинг та збереження аудіофайлів.(рис. 3.49)

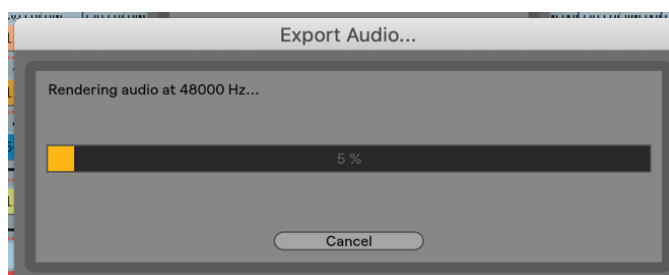


Рисунок 3.49 – Процес енкодингу аудіофайлу

Після збереження аудіофайли готові для відтворення та публікації(рис.3.50).

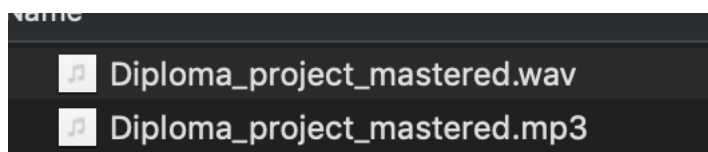


Рисунок 3.50 – Готові до публікації файли

3.6 Аналіз спектру до та після обробки сигналів

Після виконаного міксингу та мастерингу композиції було проаналізовано спектр сигналів до та після обробки.

3.6.1 Спектральний аналіз вокальної доріжки

Такий вигляд мала доріжка вокалу до обробки еквалайзером, компресором та іншими плагінами(рис. 3.51)

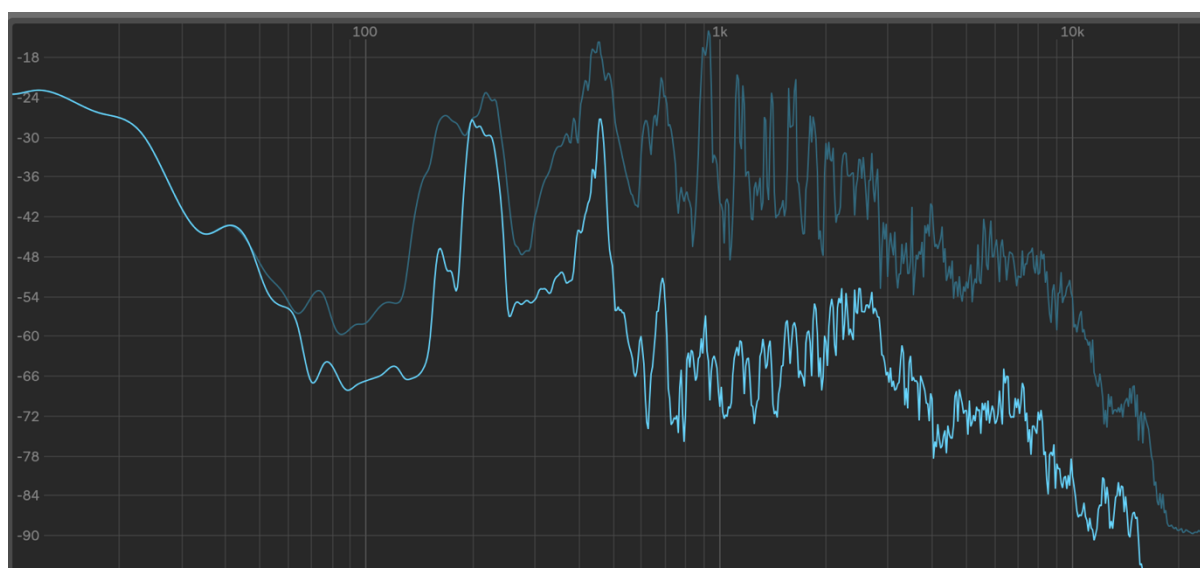


Рисунок 3.51 – Спектрограма вокальної доріжки без обробки

Зі спектрограми видно наявність великої кількості інформації в низькочастотному діапазоні до 100Гц, що негативно вплинуло би на композицію, так як цей низькочастотний сигнал конфліктував би з таким сигналом басу та бас-бочки

Після обробки інформація нижче 100Гц вирізана фільтром, а сигнал в середньому та верхньому діапазоні частот є більш збалансованим. В області 5-10КГц рівень сигналу зріс, що надає голосу більш яскравого та чіткого звучання(рис. 3.52)

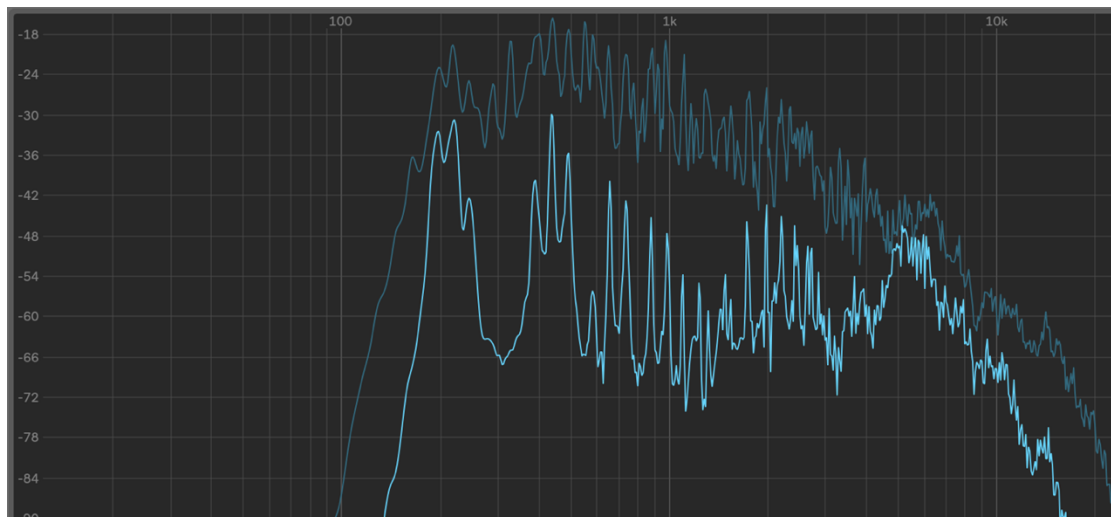


Рисунок 3.52 – Спектрограма вокальної доріжки після обробки звукового сигналу

3.6.2 Спектральний аналіз доріжок низькочастотних інструментів

Для доріжок басу та бас-бочки мета була протилежною – посилити та зробити більш щільним низькочастотний сигнал та послабити високочастотну складову. Так виглядає спектрограма сигналу до обробки:

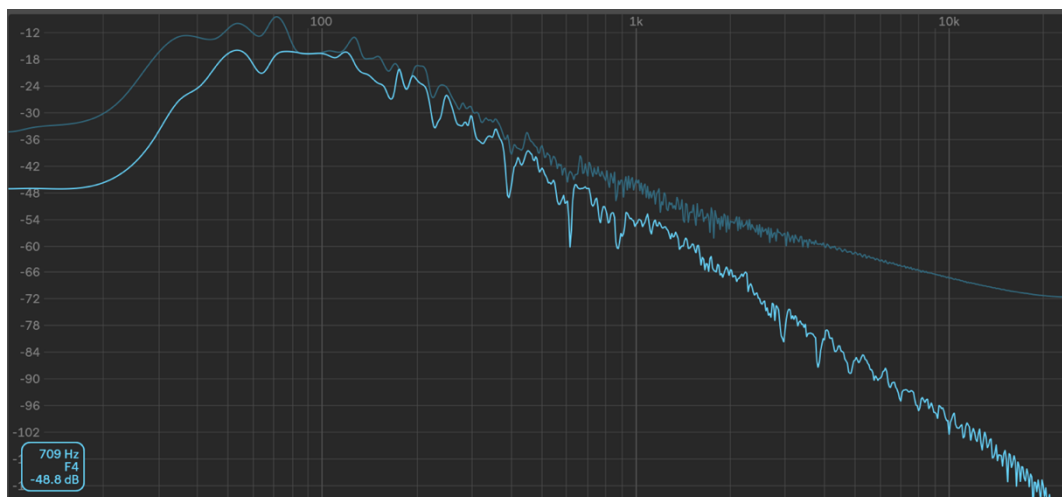


Рисунок 3.53 – Спектрограма низькочастотних доріжок без обробки

Зі спектрограми видно, що область 50-100Гц не є щільною. Однією з причин є наявність конфлікту частот між басом та бас-бочкою, а також відсутність компресії. У високочастотному діапазоні спостерігаються перепади від низького до високого рівня, що може спровокувати частотний конфлікт з високочастотними інструментами та вокалом.

Графік після обробки показує більш щільний сигнал в області 50-100Гц та більш щільний та плавний спадаючий сигнал по мірі зростання частоти. Така спектральна картина означає більш рівномірне та чисте відтворення низькочастотних інструментів у композиції(рис 3.54)

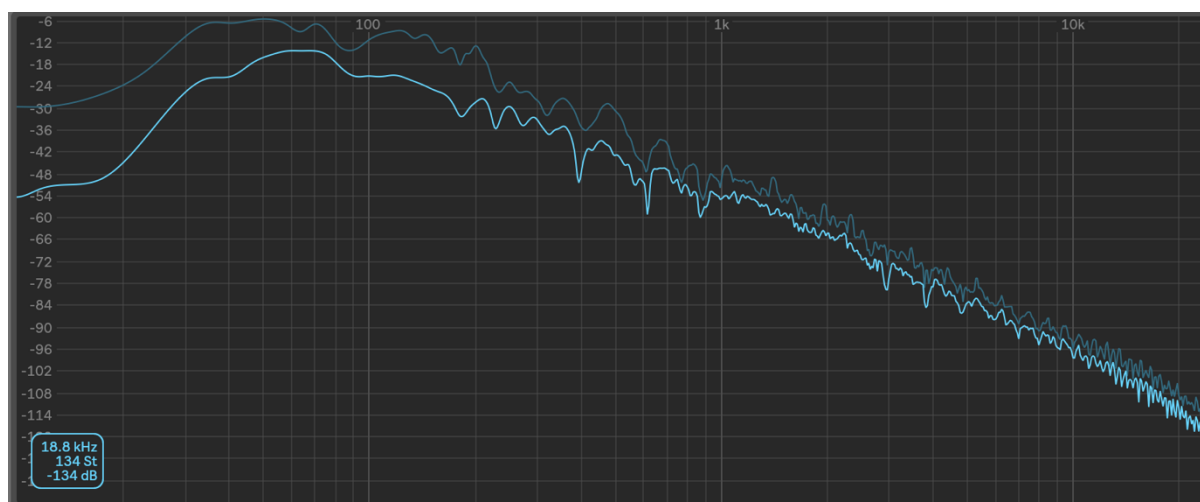


Рисунок 3.54 – Спектрограма низькочастотних доріжок після обробки
звукового сигналу

3.6.3 Міксинг та мастеринг всієї композиції

Необроблена композиція без обробки мастерингу виглядає на спектрограмі наступним чином(рис. 3.55):

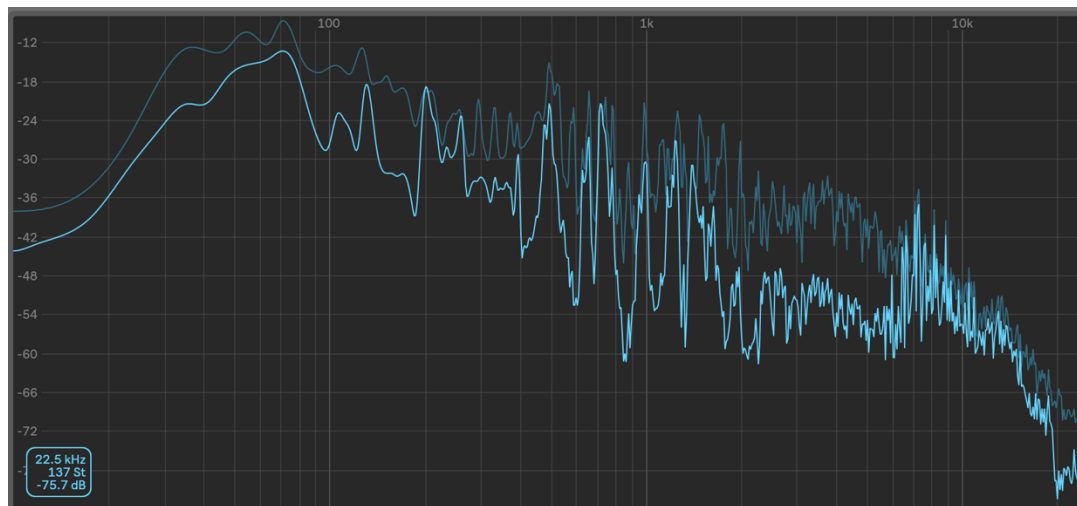


Рисунок 3.55 – Спектрограма мастер-треку без обробки та мастерингу

На спектрограмі чітко видно, що рівень сигналу нерівномірний та незбалансований, особливо це помітно в області середніх частот. Такий характер означає постійну зміну гучності звуку внаслідок конфліктів різних інструментів та вокалу між собою.

Спектр обробленої композиції без мастерингу виглядає наступним чином(рис. 3.56).

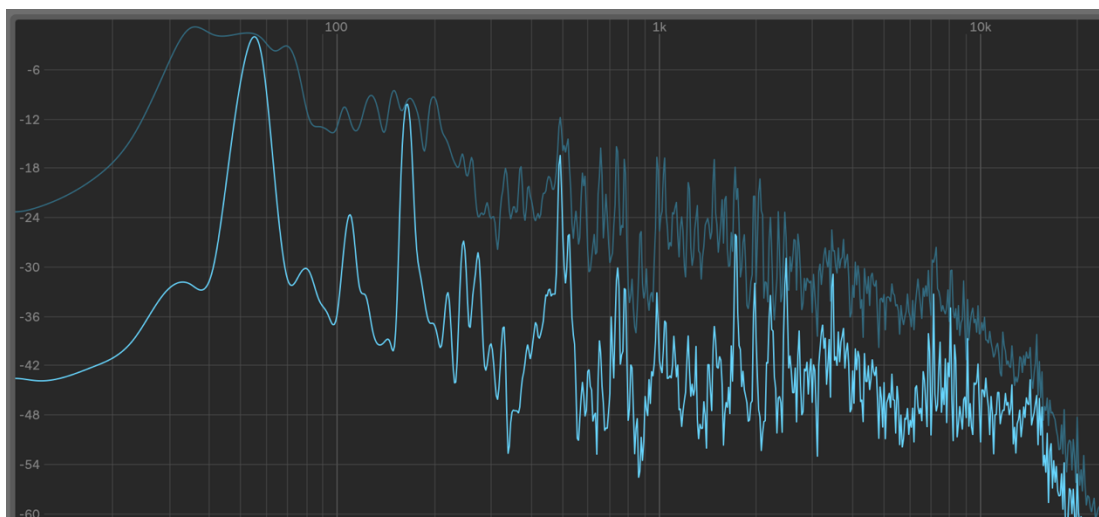


Рисунок 3.56 – Спектрограма мастер-трек з обробкою, але без мастерингу

На даній спектрограмі рівень є більш збалансованим, область низьких частот (50-100Гц) виражена, але щільності та рівномірності все ще недостатньо.

Після мастерингу композиції спектрограма має наступний вигляд(рис.3.57):

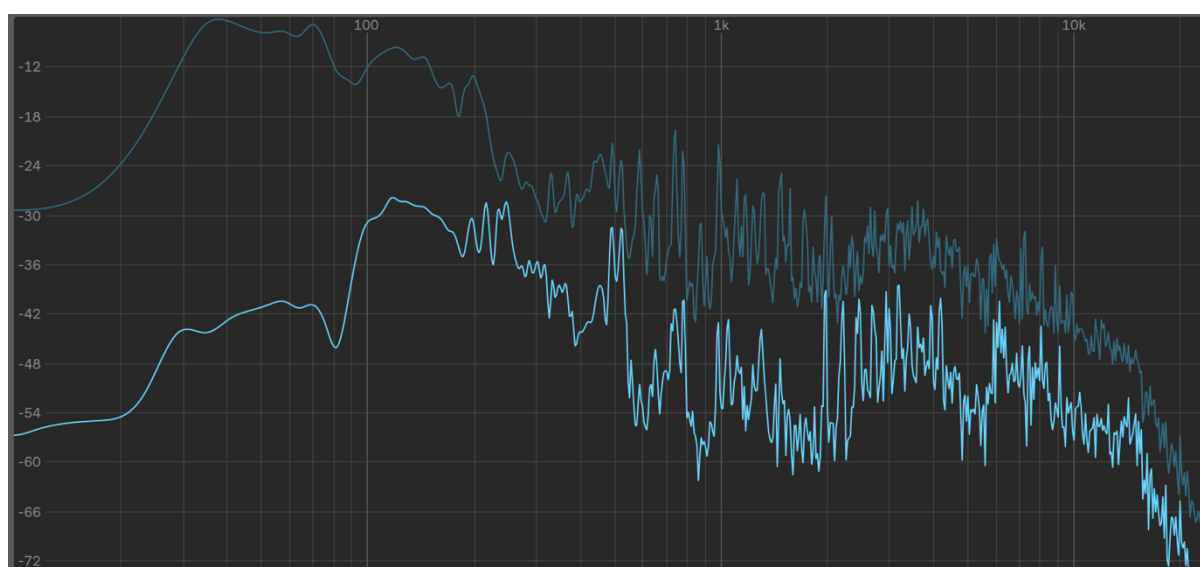


Рисунок 3.57 - Спектрограма мастер-трек з обробкою і мастерингом

З фінальної спектрограми видно виражений бас, та збалансований рівень сигналу по всьому спектру. Жоден з інструментів не конфліктує між собою та рівень сигналу рівномірний та щільний.

Більш наглядно щільність рівня сигналу можна побачити на амплітудному графіку мастер-доріжок(рис. 3.58):

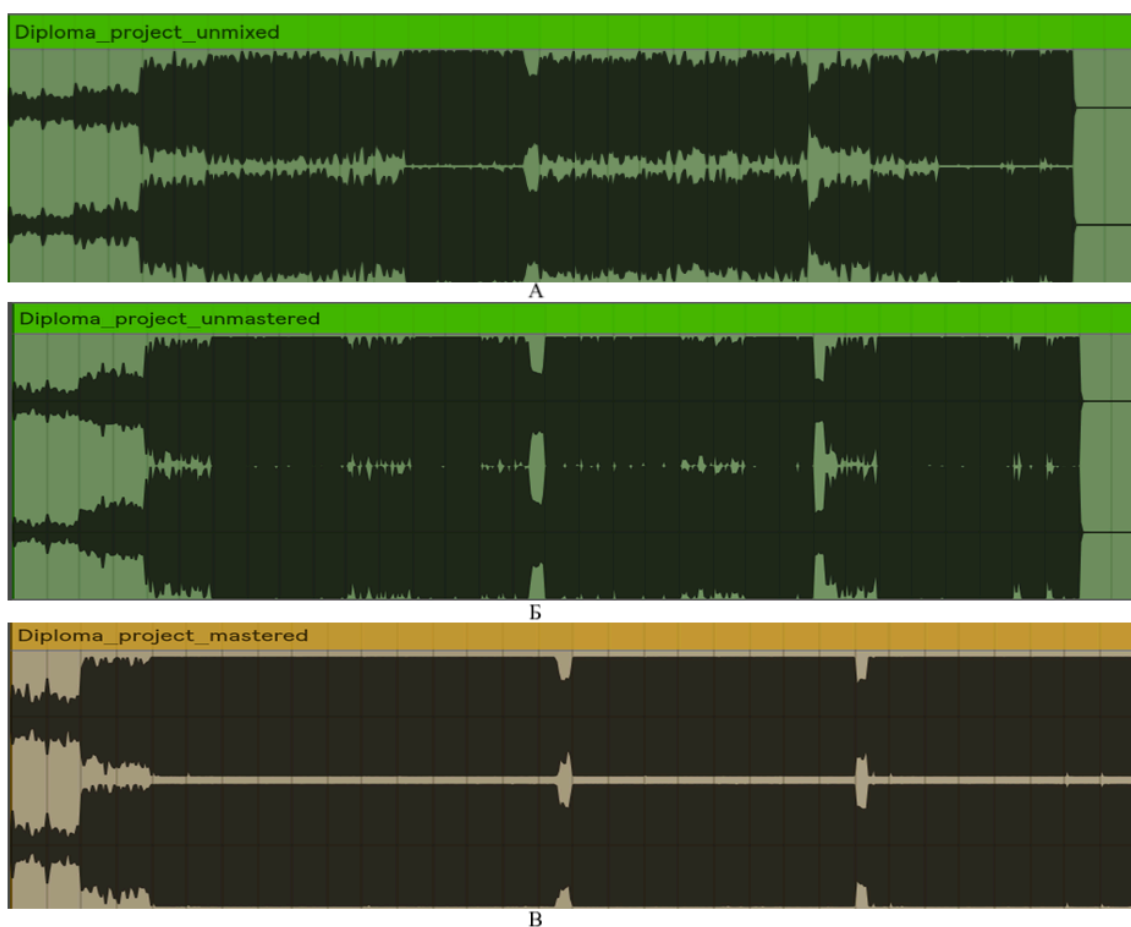


Рисунок 3.58 – Графік амплітуди сигналу:

А – мастер-треку без обробки та мастерингу,

Б – мастер-треку з обробкою, але без мастерингу,

В – Мастер-треку з обробкою та мастерингом.

Висновки до розділу

У третьому розділі розроблено послідовний алгоритм обробки та мастерингу аудіокомпозиції з використанням сучасних аудіоплагінів та доповнень.

Розроблено плагін ефекту затримки Хааса на базі пакету розширення Max for Live з подальшим його застосуванням до аудіодоріжки.

Запропонований принципово новий підхід до мастерингу аудіокомпозиції сучасним додатком, що використовує алгоритми на базі штучного інтелекту. Вказаний підхід протестований та показав себе як оптимальний та найшвидший. На графіках видно, що налаштовані вручну параметри не сильно відрізняються від створених плагіном, що підтверджує ефективність автоматичного методу.

4 СТАРТАП-ПРОЕКТ

4.1. Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

| Зміст ідеї | Напрямки застосування | Вигоди для користувача |
|--|----------------------------------|---|
| Використання сучасного рішення для створення аудіокомпозицій | 1. Професійні студії звукозапису | Можливість створення комерційної аудіокомпозиції для її подальшої монетизації |
| | 2. Домашні студії звукозапису | Можливість створення якісної аудіокомпозиції в домашніх умовах |

Таблиця 4.2 – Визначення характеристик ідеї проекту

| № п/п | Техніко-економічні характеристики ідеї | (потенційні) товари/концепції конкурентів | | | W (слабка сторона) | N (нейтральна сторона) | S (сильна сторона) |
|-------|--|---|--------------|-----------|--------------------|------------------------|--------------------|
| | | Запропонований метод | Augment | Vision | | | |
| 1. | Створення AR програм без навичок програмування | Дає змогу | Дає змогу | Дає змогу | | + | |
| 2. | Створення застосунку на мобільні платформи | Дає змогу | Не дає змогу | Дає змогу | | | + |
| 3. | Вартість на місяць | 200 € | 200-1000 € | 300-500 € | | | + |

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.

У таблиці 4.3 показано оцінку технологічної здійсненності ідеї проекту та наведено технології, що можуть бути використані для реалізації проекту.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/п | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|-------|---|--|----------------------------------|------------------------|
| 1 | Сучасне рішення для створення аудіокомпозицій | Використання середовища Ableton Live та сторонніх плагінів | Необхідно придбати ПЗ та плагіни | Доступна |
| 2 | | Створення власних плагінів в розширенні Max for Live | Необхідно розробити | Доступна |

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Сучасне рішення для створення аудіокомпозицій.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У таблиці 4.4 показано попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

| № п/п | Показники стану ринку (найменування) | Характеристика |
|-------|--|-----------------------------------|
| 1 | Кількість головних гравців, од | 3 |
| 2 | Загальний обсяг продаж, грн/ум.од | 500000 |
| 3 | Динаміка ринку (якісна оцінка) | Зростає |
| 4 | Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень) | Зацікавлення потенційних клієнтів |
| 5 | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | Немає |
| 6 | Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), % | $500000/210000 = 238\%$ |

У таблиці 4.5 показано характеристику потенційних клієнтів стартап-проекту.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| № п/п | Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку) | Вимоги споживачів до товару |
|-------|--|---|--|
| 1 | Удосконалення процесу створення аудіокомпозицій за допомогою сучасних технологій | Студії звукозапису, які потребують нових рішень | Доступність нових технологій для створення аудіокомпозицій |
| 2 | Спрощення процесу створення за допомогою сучасних технологій | Люди які хочуть створити свою аудіокомпозицію | |

У табл. 4.6 показані фактори загроз реалізації стартап-проекту.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

| № п/п | Фактор | Зміст загрози | Можлива реакція компанії |
|-------|-------------------------------|--|---|
| 1 | Незацікавленість клієнтів | Внаслідок невдалого маркетингу клієнт може не зацікавитись послугами | Внесення застосункових сервісних послуг, демонстрація можливостей |
| 2 | Втрата конкурентоспроможності | Поява нової компанії з більш технологічними рішеннями | Якісне та кількісне нарощування технологій та нових алгоритмів |

У табл.4.7 показано фактори можливостей при реалізації стартап- проекту.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

| № п/п | Фактор | Зміст можливості | Можлива реакція компанії |
|-------|---------------------------------|------------------|---|
| 1 | Перехід до домінування на ринку | Зростання попиту | Якісне та кількісне нарощування потужностей |

| | | | |
|---|--|---|---|
| | медійних послуг | | |
| 2 | Імплементация технологій в існуючі рішення розширення їх можливостей | Зростання попиту внаслідок зростання клієнтів | Якісне та кількісне нарощування потужностей |

У таблиці 4.8 визначено особливості конкурентного середовища та його вплив на впровадження проекту.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика | Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною) |
|--------------------------------------|---|--|
| 1. Чиста конкуренція | Використання схожих технологій | Стандартизація на високому рівні |
| 2. Локальний | Відсутність єдиного алгоритму процесу | Окремий підхід до кожного клієнту. |
| 3. Міжгалузева | Відсутня | Відсутня |
| 4. Товарно-видова | Застосування стандартизованих технологій | За необхідності, використання загальноновживаних апаратних та програмних засобів |
| 5. Цінова | Наймання розробників чи компаній, які мають значну ціну | Можливість заощадити за допомогою застосування універсального рішення |
| 6. Марочна | Для кожного процесу потрібна команда спеціалістів | Отримання переваги на ринку медійних послуг |

У табл. 4.9 показано фактори конкурентоспроможності та їх обґрунтування.

Таблиця 4.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим) |
|----------|------------------------------------|--|
| 1 | Раціональніший ціновий показник | Відсутність необхідності виділення розробників на кожний проект. |
| 2 | Надання сервісних послуг | При бажанні клієнта, можлива технічна підтримка штатного спеціаліста |

У табл. 4.10 наведено сильні та слабкі сторони проекту.

Таблиця 4.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

| № п/п | Фактор конкурентоспроможності | Бали 1-20 | Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні | | | | | | |
|----------|--|--------------|--|----|----|---|----|----|----|
| | | | -3 | -2 | -1 | 0 | +1 | +2 | +3 |
| 1 | Раціональніший ціновий показник | 17 | + | | | | | | |
| 2 | Сучасність процесу | 12 | | + | | | | | |
| 3 | Необхідність самостійної роботи клієнта для створення необхідного результату | 4 | | | | + | | | |

У табл.4.11 наведено SWOT-аналіз стартап-проекту.

Таблиця 4.11. SWOT- аналіз стартап-проекту

| | |
|---|--|
| Сильні сторони: раціональний ціновий показник, сучасність процесу | Слабкі сторони: Необхідність самостійної роботи клієнта для створення необхідного результату |
| Можливості: Перехід до ексклюзивного застосування нового методу, Імплементация методу в існуючі рішення створення аудіокомпозицій | Загрози: Незацікавленість клієнтів, втрата авторитету |

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту наведені у табл.4.12.

Таблиця 4.12. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

| № п/п | Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки | Ймовірність отримання ресурсів | Строки реалізації |
|-------|---|--------------------------------|-------------------|
| 1 | Укладення договорів з медійними компаніями та швидке захоплення ринку при використанні нового рішення | висока | незначні |
| 2 | Використання приладів та алгоритмів загального вжитку для підвищення конкурентноспроможності | середня | незначні |

Обрана альтернатива - укладення договорів з медійними компаніями та швидке захоплення ринку при використанні нового рішення.

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Обґрунтування вибору цільових груп потенційних споживачів наведено у табл. 4.13.

Таблиця 4.13. Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № п/ п | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів | Готовність споживачів в сприйнят и продукт | Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту) | Інтенсивність конкуренції в сегменті | Простота входу у сегмент |
|--------------|--|---|--|--|-----------------------------------|
| 1 | Студії звукозапису, які потребують нових рішень | Середня | Високий | Середня | Середня |
| 2 | Люди які хочуть створити свою аудіокомпозицію | Висока | Середній | Середня | Висока |

Визначення базової стратегії розвитку наведено у табл. 4.14.

Таблиця 4.14. Визначення базової стратегії розвитку

| № п/ п | Обрана альтернатива розвитку проекту | Стратегія охоплення ринку | Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи | Базова стратегія розвитку* |
|--------------|---|---|--|----------------------------------|
| 1 | Використання альтернативних технологій та пристроїв | Встановлення нового стандарту якості | Зацікавлення та залучення найбільш популярних студій/виконавців | Стратегія спеціалізації |
| 2 | Пошук нових технологій та рішень | Створення нових алгоритмів | Застосування нових програмних та апаратних рішень замість загальноновживаних комплексів | Стратегія диференціації |

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки наведено у табл.4.15.

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

| № п/п | Чи є проект «першопрохідцем» на ринку? | Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів? | Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які? | Стратегія конкурентної поведінки* |
|-------|--|--|---|-----------------------------------|
| 1 | Ні | Забирати існуючих та шукати нових | Не буде | Стратегія виклику лідера |

Визначення стратегії позиціонування наведено у табл. 4.16.

Таблиця 4.16. Визначення стратегії позиціонування

| № п/п | Вимоги до товару цільової аудиторії | Базова стратегія розвитку | Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту | Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових) |
|-------|-------------------------------------|---------------------------|--|--|
| 1 | Висока якість послуг | Стратегія спеціалізації | гарант якості, точність дослідження | Якість, надійність, точність |
| 2 | Пошук нових технологій та рішень | Стратегія диференціації | Новизна, універсальність запропонованого рішення | Сучасність, універсальність |

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Ключові переваги концепції потенційного товару наведено у табл. 4.17.

Таблиця 4.17. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| № п/п | Потреба | Вигода, яку пропонує товар | Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити) |
|-------|---------|--|--|
| 1 | Якість | Висока якість, надійність | Надійність |
| 2 | Новизна | Унікальність та сучасність запропонованого рішення | Сучасність |

Визначення меж встановлення ціни на послугу наведено у табл. 4.18.

Таблиця 4.18. Визначення меж встановлення ціни

| № п/п | Рівень цін на товари-замінники | Рівень цін на товари-аналоги | Рівень доходів цільової групи споживачів | Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу |
|-------|--------------------------------|------------------------------|--|--|
| 1 | 2500 у.о./од. | 1800 у. о./од | Високий | Н.500 у.о. – В.1000 у.о. (Товар) Н.200 у.о. – В.500 у.о. (Послуга) |

Формування системи збуту послуги наведено у табл. 4.19.

Таблиця 4.19. Формування системи збуту

| № п/п | Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів | Функції збуту, які має виконувати постачальник товару | Глибина каналу збуту | Оптимальна система збуту |
|-------|--|---|----------------------|--------------------------|
| 1 | Орієнтована на отримання максимальної якості та сучасності створення вудіокомпозицій | Поставки якісного та надійного товару | Значна | Договірна система збуту |

Концепції маркетингових комунікацій наведено у табл. 4.20

Таблиця 4.20. Концепція маркетингових комунікацій

| № п/п | Специфіка поведінки цільових клієнтів | Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти | Ключові позиції, обрані для позиціонування | Завдання рекламного повідомлення | Концепція рекламного звернення |
|-------|--|--|---|---|--|
| 1 | Зацікавленість в якісному та легкому для розробки продукті | Медіа ресурси | Гарантованість якості та стандартизації, політика сервісності | Зацікавити у покращеннях пов'язаних із зростаючою популярністю послуг | Представлення легкості створення аудіокомпозицій та нових плагінів без навичок програмування |
| 2 | Зацікавленість у великій кількості продукту із дотриманням умов якості | Медіа ресурси | Глибина каналу постачальників, гарант якості | Зацікавити у позитивних сторонах первісності та в глибині каналу постачання | |

Висновки до розділу

У розділі розроблено стартап-проект, який базується на створенні оптимального рішення для створення аудіокомпозиції для подальшої публікації, зокрема на радіо та музичних стрімінгових сервісах. Проведено дослідження доцільності та рентабельності даного бізнес-проекту та визначено, що комерціалізація проекту є доцільною.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації запропоновано варіант реалізації якісної аудіокомпозиції з використанням сучасних технологій, а саме:

- Сучасних цифрових плагінів;
- Програмного забезпечення для мастерингу із використанням алгоритмів на базі штучного інтелекту;
- Власно створеного плагіну, розробленому в додатку Max for Live на базі цифрової робочої аудіостанції Ableton Live.

В рамках магістерської дисертації проведено дослідження методів та технологій створення аудіокомпозиції. На основі проведених досліджень отримано наступні результати:

1. Розглянуто основні принципи цифрової обробки звукових сигналів. Виконано порівняння засобів цифрової та аналогової обробки аудіосигналу.
2. Проаналізувати алгоритми та пристрої частотної обробки сигналів і встановлено, що сучасні цифрові плагіни для частотної обробки чудово виконують функцію аналізу, фільтрації та корекції аудіосигналу.
3. Досліджено методи динамічної обробки звукових сигналів. Визначено, що розглянуті сучасні цифрові плагіни динамічної обробки дозволяють коректно та швидко обробляти аудіосигнал в реальному часі без затримок.
4. Розглянуто апаратні та цифрові принципи побудови реверберації. Визначено, що цифрова реверберація та ефект затримки можуть додати стерео об'єм аудіосигналу та згенерувати специфічне акустичне середовище.
5. Виконано мастеринг музичної композиції із використанням сучасних

технологій. Для цього процесу було використано спеціальний додаток Izotope Ozone, що має в своїй основі алгоритми на базі штучного інтелекту.

6. Порівняно результати мастерінгу створеного в програмному забезпеченні Izotope Ozone 8 та за автоматично та вручну.

Визначено, що цей алгоритм є досить ефективним та є доцільним для використання.

Досліджено спектрограми вокальних доріжок до та після оброблення сигналів. Визначено, що обробка аудіосигналу є коректною, а отже даний алгоритм дій може використовуватись для мастерінгу аудіокомпозиції. На графіках видно, що налаштовані вручну параметри не сильно відрізняються від створених плагіном, що підтверджує ефективність автоматичного методу.

7. Розроблено стартап-проект, який базується на створенні оптимального рішення для створення аудіокомпозиції для подальшої публікації, зокрема на радіо та музичних стрімінгових сервісах. Проведено дослідження доцільності та рентабельності даного бізнес-проекту та визначено, що комерціалізація проекту є доцільною.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ballou, G. 1987. Handbook for Sound Engineers, pp. 898–906. Indiana: Howard W. Sams & Co.
2. Jurgens, R. K., ed. 1997. Digital Consumer Electronics Handbook, Chapter 2. New York: McGraw-Hill.
3. Трапезніков, Є.Ю. 2018. Технології запису музичних інструментів в студії звукозапису. Бакалаврська робота.
4. Senior, 2011 M. Mixing Secrets For The Small Studio. Focal Press, a division of Taylor & Francis.
5. Kirk, R. and Hunt, A. 1999. Digital Sound Processing for Music and Multimedia, Chapter 1. Massachusetts: Focal Press.
6. KORG, Inc. 1991. KORG Wavestation SR Service Manual. Tokyo, Japan: KORG Inc.
7. Limberis, A. and Bryan, J. 1993. An architecture for a multiple digital-signal processor based music synthesizer with dynamic voice allocation. Journal of the Audio Engineering Society, Preprint No. 3699.
8. Pohlmann, K. C. 2011. Principles of Digital Audio, pp. 16–30. New York: McGraw-Hill.

9. Stearns, S. D. and Hush, D. R. 1990. Digital Signal Analysis, pp. 44–52. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
10. Bargaen, B. and Donnelly, P. 1998. Inside DirectX, Chapter 1. Redmond, WA: Microsoft Press.
11. Coulter, D. 2000. Digital Audio Processing, Chapters 7–8. Lawrence, KS: R&D Books.
12. Petzold, C. 1999. Programming Windows, Chapter 21. Redmond, WA: Microsoft Press.
13. Richter, J. 1995. Advanced Windows, Chapters 2 and 11. Redmond, WA: Microsoft Press.
14. Rogerson, D. 1997. Inside COM, Chapters 1–2. Redmond, WA: Microsoft Press.

ДОДАТОК А
ABSTRACT

The technology that surrounds us in daily life is becoming increasingly “smart” and adapting to our habits and needs. This trend permeates all aspects of human endeavor, from the social to the medical, from the practical to the economic, from the local to the global and further on to space. Similarly we see this in creative aspects of human life, from the creative industries and on to the refined arts. The exploration of creativity in artificial intelligence has been gaining traction over the last decade. Our focus in this article is on recent advances in audio production techniques, where decisions on processing methods, or fine-tuning of their parameters, are done by an automated process. Some of these techniques fall under the heading of intelligent audio production tools. The term intelligent here refers in general to techniques that analyze the properties of the audio material to be processed and apply appropriate processing without human intervention. The basis for these automated decisions are often derived from best practices of professional audio engineers. The tools might be used to automatically correct for well known and frequently occurring problems in audio production. In other cases, the techniques are used for more creative explorations, allowing the automated processes to create tension and friction, as well as new potential for musical expression in artistic, performative and perceptual dimensions. Analyzing the basic properties of a signal or a collection of audio material, extracting perceptual features, and creating new mappings, dependencies, correlations, dimensions of attraction and repulsion. The aim of this branch of techniques is to create new landscapes for human creativity to unfold. In the case of intelligent automation, it relieves the human operator from some repetitive and time consuming tasks, freeing resources for more creative parts of the production process. A similar but complementary effect can be seen in the applications on cross-adaptive performance, where habitual performative actions are challenged and sometimes interrupted. In all cases, the techniques raise questions that can engage in an active reappropriation of creativity in the age of artificial intelligence.

Recent History of Applications

Even though we have seen an explosive growth in the utilization of adaptive processing and signal interaction in the last 15 years or so, we note a longer history of crossmodulation and signal interaction that has been active for the last 70 years or so. Ring modulation is the time domain multiplication of two signals. An early example of creative use can be seen in Stockhausen's "Mixtur" from 1964, while the guitar solo on Black Sabbath's "Paranoid" from 1970 serves as an example of usage in popular music. The Vocoder is based on a multi-band envelope follower on one sound, controlling levels of the same frequency bands on another signal. This has been in popular use, for example in Wendy Carlos' music for the film "A Clockwork Orange" from 1971. Vocoder were also used extensively by Laurie Anderson, for example in the 1981 "O Superman." Within electroacoustic art music, Philippe Manoury and Miller Puckette have explored adaptive techniques as a means to enable expressive performances where electronic material needs to be combined with a live acoustic performer. This can be heard in pieces like "Jupiter" (1987) and "Pluton" (1988). Another classic effect where signal analysis has been used to drive processing parameters is the Auto-wah", where an envelope follower dynamically controls the cutoff frequency of a bandpass filter. A famous example is the trademark Clavinet sound of Stevie Wonder, for example on "Superstition" and "Higher Ground" (1972–73). More recently, we have seen adaptive processing permeating whole genres of popular music with the use of sidechain compression to create ducking and pumping effects. A clear example of this can be heard in Eric Prydz' "Call On Me" from 2004. Lately, we have seen adaptive control explorations by performer-instrument-designers like Stefano Fasciani and Hans Leeow. The cross-adaptive effects of Brandtsegg et al. (2018a) and Baalman et al. (2018) seems currently to be in the forefront of the field.

Classification of Audio Effects by Control

For understanding the architectures of complex or intelligent effects, we use another approach proposed in Verfaillie et al. (2006), which classifies digital audio effects in terms of the ways in which control parameters may be determined by input signals. At first, this may seem counterintuitive—why would the control parameters, as opposed to the perceptual properties or signal processing techniques, be an important aspect? However, certain forms of control are an essential enabling technology for intelligent audio effects.

Having control parameters depend on an audio signal is what defines an adaptive audio effect. Verfaillie et al. (2006) further breaks down adaptive audio effects into several subcategories. Block diagrams of auto-adaptive, external-adaptive and cross-adaptive processing devices have been depicted in Figure 1, and these categories will be discussed below.

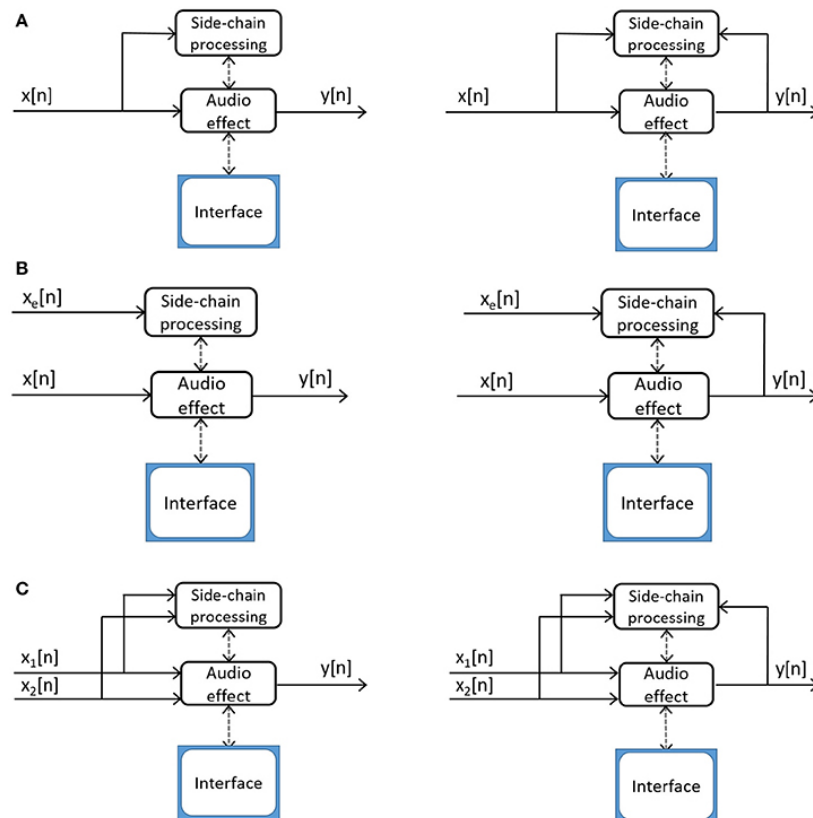


Figure 1. Depictions of audio effects distinguished by their control. (A) Auto-adaptive processing device without (left) and with (right) feedback. (B) Cross-adaptive processing device without (left) and with (right) feedback, where $x_e(n)$ is the external source. If $x_e(n)$ is not heard in the output, and only affects $y(n)$ via modulation of $x(n)$, then the effect is external-adaptive. (C) Cross-adaptive processing device with multiple inputs $x_1(n)$ and $x_2(n)$, creating one output $y(n)$. The parametric control of the effect processing then can be affected by the relation between feature vectors of the two signals. Without (left) and with (right) feedback.

Non-Adaptive

For non-adaptive audio effects, all parameters that influence the processing are either fixed or directly controlled by the user, as depicted in Figure 2. In general, features are not and do not need to be extracted from input signals. For instance, a graphic equalizer is non-adaptive since no aspect of the processing is dependent on any attributes of the input signal. The locations of the frequency bands are fixed and the gain for each band is controlled by the user. A multisource extension of this approach is to link the user interface, so that both channels of a stereo equalizer are controlled by just one set of controls. This provides exactly the same equalization for the left and right channel using a single user panel. Although the user interface is linked, the output signal processing is still independent of the signal content.

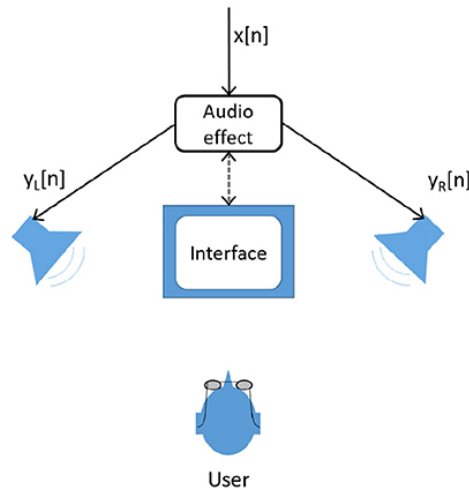


Figure 2. Interaction with a non-adaptive audio effect where the user interacts with an interface to control its parameters.

Figure 2 shows the standard implementation of a non-adaptive audio effect, where n is the discrete time index in samples, $x[n]$ is the input source and $y[n]$ is the output resulting from the signal processing.

Adaptive digital audio effects, in contrast, use features extracted from the audio to control the signal processing. The dynamic range compressor is a good example of an adaptive effect. The gain applied by a compressor depends on the input signal level. Thus, the input signal needs to be analyzed and the level determined.

In some cases, the analysis of the input signal is done in a separate module. In other cases it is incorporated into the processing module, blurring the line between adaptive and non-adaptive. The classification is generally based on the manner of signal interaction, while the implementation details should not affect classification.

This distinction between non-adaptive and adaptive effects is not the same as between linear and nonlinear. Consider treating an audio effect as a black box, which is fed sine waves at different frequencies. For a linear, time-invariant effect, the same frequencies occur at the output, only with the amplitude and phase changed. One could imagine an effect that, regardless of

input, always adds a 1 kHz tone at the output. Such a system would be non-adaptive, but it would also be nonlinear.

Auto-Adaptive

In an auto-adaptive audio effect, the control parameters are based on a feature extracted from the input source itself. Here “auto” means “self,” and is not an abbreviation of “automatic,” in contrast to auto-tuning or auto-mixing. In feedforward designs, the analysis and feature extraction is performed only on the input signal. However, auto-adaptive audio effects can also use feedback from the output signal. An example is again the dynamic range compressor, where the gain applied to the signal is dependent on a measurement of either input or output signal level, for feedforward and feedback compressors respectively (Giannoulis et al., 2012).

Some brief examples of auto-adaptive audio effects were given in Verfaillie et al. (2006). such as noise gates, compressors and time-warping. Panning strategies were revisited in Morrell and Reiss (2009), which presented a “creative effect” type of implementation, where pan position could be time-varying and level or frequency dependent.

In 2000, James Moorer laid out a vision for audio production technology emerging over the next 20 years (Moorer, 2000). It described an Intelligent Assistant which would incorporate psychoacoustic models of loudness and audibility, to “take over the mundane aspects of music production, leaving the creative side to the professionals, where it belongs.” Details of this vision were further given in Dannenberg (2007), based on an auto-adaptive environment where tracks could be automatically tuned. It would maintain user-specified loudness relationships and autonomously time-align and pitch-correct performances, hence moving auto-adaptive effects into the realm of automatic editing.

Cross-Adaptive Networks of Processing

Cross-adaptive processing networks are characterized by having control parameters which are determined by several input audio signals. They include cross-adaptive effects that analyze multiple input signals (and often the relationships between them) in order to produce at least one output track. Each node in such a network can conform to any of the previous adaptive topologies. It generalizes the single- or dual track adaptive processing approach and provides the greatest design flexibility. Cross-adaptive networks can be further enhanced using a feedback loop.

The cross-adaptive architecture includes many potential designs that can be used in full mixing systems. The following is a list of possible network nodes.

- Adaptive — features are extracted from at least one input signal X_f and the feature values are used to drive processing on at least one input signal X_p , producing at least one output signal Y_p .
- Auto-adaptive — X_f and X_p are the same input signal.
- Cross-adaptive — X_f and X_p are not exactly the same signals.
- External-adaptive — Cross-adaptive, but X_f is truly external and is only perceived in Y_p by means of its modulation.
- Bilateral cross-adaptive — Two signals modulating each other, where both processed signals are heard in the output. (X_{p1} modulates X_{p2} , creating Y_{p2}) while also (X_{p2} modulates X_{p1} and creates Y_{p1}).
- Multi-input cross-adaptive — Cross-adaptive, but X_f is more than one signal.
- Multi-output cross-adaptive — Cross-adaptive, but X_p (and hence Y_p) is more than one signal.

- Multi-input multi-output cross-adaptive — Cross-adaptive, but features are extracted from more than one input signal and more than one output signal.

Intelligent and Adaptive Digital Audio Effects

Intelligent adaptive effects listen to the audio signal. They are imbued with an understanding of their intended use, and are often intended to control their own operation in much the same way as a sound engineer would control effects at a mixing desk. A knowledge engineering approach may be applied to gather and apply best practices in sound engineering, supplemented by listening tests to further establish preferences or machine learning from training data based on previous use. Thus, intelligent audio effects may provide parameter settings for dynamics processors (Ma et al., 2015), set appropriate equalization (Hafezi and Reiss, 2015), apply preferred reverberation (De Man et al., 2017a; Pestana et al., 2017), and implement stereo panning to more effectively distinguish the sources (Perez Gonzalez and Reiss, 2010).

Figure 3 gives a block diagram of an intelligent audio effect. Analysis is performed in a side-chain, which ensures that the audio signal flow is unaffected. This side-chain extracts and analyses features, resulting in controls which are used to modify the audio signal.

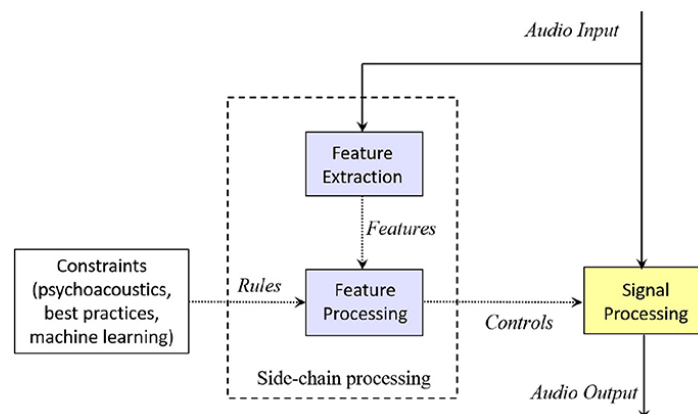


Figure 3. An intelligent audio effect. Features of the input audio signal are extracted and analyzed to produce controls. The control values are often based on rules intended to mimic the behavior of a trained engineer.

Cross-Adaptive Processing

So far, the architecture for intelligent audio effects assumes that each effect processes a single audio track. At most, they may extract features from an additional input in the side-chain. But in multitrack mixing, the signal processing applied to a given source will depend on the properties of many other sources. So relationships between sources must be taken into account. This is relevant not only to produce a high quality mix by professional standards, but also for unconventional and creative sound design strategies. Any effects process that can be parameterized can be controlled in this manner. As an example, we could control the reverb time for the drums according to the level of rhythmic activity in the guitars, or control the flanger rate of the guitar in accordance with the noisiness of the vocals.

This can be conceptualized as an extension of the cross-adaptive audio effect, where the processing of an input source is the result of analysis of the features of each source and the relationships between all of those sources. Such an effect makes use of a multiple input multiple output (MIMO) architecture and may be considered inter-channel dependent.

This is depicted in Figure 4 for one track within a multitrack, cross-adaptive audio effect. Assuming the cross-adaptive tool has the same number of inputs and outputs, inputs may be given as $x_m[n]$ and outputs as $y_m[n]$, where m has a valid range from 1 to M given that M is the maximum number of input tracks involved in the signal processing section of the tool.